

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-008108

(43)Date of publication of application : 10.01.2003

(51)Int.Cl.

H01L 43/08

G01R 33/09

G11B 5/39

H01L 43/12

(21)Application number : 2002-077752

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 20.03.2002

(72)Inventor : HASEGAWA NAOYA  
HAYAKAWA YASUO

(30)Priority

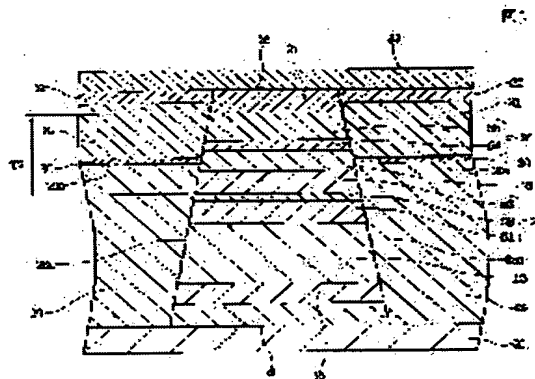
Priority number : 2001081825 Priority date : 22.03.2001 Priority country : JP

## (54) MAGNETIC DETECTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a CPP type magnetic detecting element that generates high reproduction outputs and has not been able to be manufactured by the conventional lithographic technique.

SOLUTION: A current limiter layer 27 in which conductive sections and insulating sections mixedly exist is provided on the sense current reaching surface side (upper surface side) of a free magnetic layer 26. Since the effective element area of the CPP magnetic detecting element can be reduced even when the optical element area of the element is increased, the element can be manufactured easily by using a lithographic technique having precision equivalent to that of the conventional lithographic technique and, at the same time, the reproduction output of the element can be increased.



---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 04.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] A magnetic sensing element characterized by preparing multilayers which have an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, and a free magnetic layer, and preparing a current-limiting layer to which the insulating section and a current carrying part were directly intermingled through other layers on either [ at least ] the upper surface of said free magnetic layer, or the inferior surface of tongue in a magnetic sensing element to which current flows to a film surface and a perpendicular direction of each class of said multilayers.

[Claim 2] A magnetic sensing element according to claim 1 by which a noble-metals material layer is formed in either an inferior surface of tongue of said current-limiting layer or the upper surface and both.

[Claim 3] Said noble-metals material layer is a magnetic sensing element according to claim 2 currently formed among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials.

[Claim 4] A magnetic sensing element according to claim 2 in which it replaces with said noble-metals material layer, and Cu layer is formed.

[Claim 5] A magnetic sensing element according to claim 1 to 4 by which said current-limiting layer is directly prepared in a current attainment side side of said free magnetic layer through other layers at least.

[Claim 6] an insulating material film with which two or more holes with which said insulating section of said current-limiting layer leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer at least were prepared -- it is -- this hole -- a magnetic sensing element according to claim 1 to 5 by which a conductive material film used as said current carrying part is embedded inside.

[Claim 7] It is the magnetic sensing element according to claim 1 to 5 by which said insulating section of said current-limiting layer has a slot which extends succeeding a time of seeing from a plane parallel to a film surface, this slot is formed even through an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer, and a conductive material used as said current carrying part is embedded at said Mizouchi.

[Claim 8] Said insulating section of said current-limiting layer is a magnetic sensing element according to claim 1 to 5 which is the insulating material film with which a hole which leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer, and a slot which extends succeeding a time of seeing from a plane parallel to a film surface, and leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer were intermingled and by which a conductive material used as said current carrying part is embedded at said hole and Mizouchi.

[Claim 9] Said insulating material film is a magnetic sensing element according to claim 6 to 8 formed by oxide film or nitride.

[Claim 10] Said oxide film is a magnetic sensing element according to claim 9 formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and insulating material

that consists of any one sort or two sorts or more of oxides among rare earth elements.

[Claim 11] Said nitride is a magnetic sensing element according to claim 9 formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and insulating material that consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among rare earth elements.

[Claim 12] It is the magnetic sensing element according to claim 1 to 5 which said current carrying part of said current-limiting layer is a conductive particle, and is distributed in an insulating material layer from which said conductive particle serves as said insulating section.

[Claim 13] Said current-limiting layer is a magnetic sensing element according to claim 12 which is the film configuration distributed the inside of amorphous where a microcrystal grain used as said current carrying part which used Fe as a principal component serves as said insulating section containing one sort or two sorts or more of elements M and O chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, or a compound with N.

[Claim 14] Said current-limiting layer has an empirical formula of  $\text{FeaMbOc}$ , and presentation ratios a, b, and c are atomic %, and it is  $40 \leq a \leq 50$ ,  $10 \leq b \leq 30$ , and  $20 \leq c \leq 40$ , and is the magnetic sensing element according to claim 12 which fills unrelated relation  $a+b+c=100$ .

[Claim 15] Said current-limiting layer has an empirical formula of  $\text{FedMeNf}$ , and presentation ratios d, e, and f are atomic %, and it is  $60 \leq d \leq 70$ ,  $10 \leq e \leq 15$ , and  $19 \leq f \leq 25$ , and is the magnetic sensing element according to claim 12 which fills unrelated relation  $d+e+f=100$ .

[Claim 16] Said insulating material film is a magnetic sensing element according to claim 12 which a conductive particle which is the layer in which Co mainly oxidized and was formed in this insulating material film with any one sort or two sorts or more of metallic materials among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag is distributing.

[Claim 17] It is the magnetic sensing element according to claim 1 to 5 which said insulating section of said current-limiting layer is an insulating particle, and is distributed in a conductive material film with which said insulating particle serves as said current carrying part.

[Claim 18] A manufacture method of a magnetic sensing element characterized by having the following production processes.

(a) The bottom to 1st electrode layer, an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, And a production process which carries out the laminating of the multilayers in order of a free magnetic layer, carries out spatter membrane formation of the insulating material film further on the upper surface of said free magnetic layer, and forms two or more holes which lead to said insulating material film from the upper surface of said insulating material film even on the inferior surface of tongue at this time, (b) -- a hole which carried out spatter membrane formation of the conductive material film, and was formed on said insulating material film at said insulating material film at this time -- a production process which fills inside with said conductive material film, and (c) -- a production process which forms the 2nd electrode layer on a current-limiting layer which consisted of said insulating material film and a conductive material film.

[Claim 19] A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 18 which forms a substrate layer which consists of a noble-metals element, and forms said insulating material film on said substrate layer after that at the aforementioned (a) production process.

[Claim 20] A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 19 which forms said substrate layer among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials.

[Claim 21] A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 18 which forms a substrate layer which consists of Cu and forms said insulating material film on said substrate layer after that at the aforementioned (a) production process.

[Claim 22] A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 18 to 21 which forms said insulating material film as a discontinuum film on said free magnetic layer or a substrate layer when carrying out spatter membrane formation of said insulating material film at the aforementioned (a) production process.

[Claim 23] Said insulating material film aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Spatter membrane

formation is carried out by insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of oxides among Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co. A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 22 which stops a spatter where a slot which extends on said insulating material film succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue at this time is left behind.

[Claim 24] In the time of formation of an insulating material film of the aforementioned (a) production process first Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and a film that consists of any one sort or two sorts or more of metallic elements among rare earth elements are formed by spatter. Where a slot which extends on a film which consists of this metallic element succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue is left behind, a spatter A stop, Then, a manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 22 which oxidizes a film which consists of said metallic element, and uses this oxide film as an insulating material film.

[Claim 25] Said insulating material film aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Spatter membrane formation is carried out by insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co. A manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 22 which stops a spatter where a slot which extends on said insulating material film succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue at this time is left behind.

[Claim 26] In the time of formation of an insulating material film of the aforementioned (a) production process first Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and a film that consists of any one sort or two sorts or more of metallic elements among rare earth elements are formed by spatter. Where a slot which extends on a film which consists of this metallic element succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue is left behind, a spatter A stop, Then, a manufacture method of a magnetic sensing element according to claim 22 which nitrides a film which consists of said metallic element, and uses this nitride as an insulating material film.

[Claim 27] A manufacture method of a magnetic sensing element characterized by having the following production proces

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the magnetic sensing element of a CPP (current perpendicular to the plane) mold, even if especially optical element size is large, it can make effectual element size small, and it is related with the magnetic sensing element which can raise a playback output effectively and easily, and its manufacture method.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 23 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element in the former from the opposed face side with a record medium.

[0003] The signs 1 shown in drawing 23 are substrate layers, such as Ta, and the antiferromagnetism layers 2, such as PtMn, are formed on it. Furthermore on said antiferromagnetism layer 2, the fixed magnetic layer 3 formed by NiFe etc. is formed, the nonmagnetic interlayer 4 formed by Cu etc. is formed on said fixed magnetic layer 3, and the free magnetic layer 5 formed by NiFe etc. is further formed on said nonmagnetic interlayer 4. Moreover, the protective layers 6, such as Ta, are formed on said free magnetic layer 5. Multilayers 9 consist of said substrate layer 1 to protective layers 6.

[0004] Magnetization of said fixed magnetic layer 3 is fixed in the direction of illustration Y by the exchange anisotropy magnetic field with said antiferromagnetism layer 2.

[0005] Moreover, magnetization of said free magnetic layer 5 is arranged in the direction of illustration X by the vertical bias magnetic field from the hard bias layers 7 and 7 formed in the both sides of the truck cross direction (the direction of illustration X) of said free magnetic layer 5.

[0006] As shown in drawing 23, the electrode layers 8 and 8 are formed on said hard bias layers 7 and 7. In addition, the width of recording track Tw is determined by the length in the truck cross direction (the direction of illustration X) of the upper surface of said free magnetic layer 5.

[0007] The flow direction of the sense current of the magnetic sensing element shown in drawing 23 is called the CIP (current in the plane) mold which flows in the almost parallel direction to each film surface of multilayers 9, and the mimetic diagram is shown in drawing 24.

[0008] As shown in drawing 24, the width of face of the upper surface of the free magnetic layer of the multilayers which consist of each class from an antiferromagnetism layer to a free magnetic layer is the width of recording track Tw, and the length to T and the height direction (the direction of illustration Y) of said multilayers of the thickness of said multilayers is MRh.

[0009] Supposing it sets constant current density ( $J=I/(MRh \times T)$ ) and Thickness T here and reduces MRh to said width of recording track Tw and height length 1/S, the resistance R of said multilayers is fixed and, therefore, is fixed. [ of resistance variation  $\Delta R$  ] Moreover, sense current I becomes 1/S time. Therefore, output  $\Delta V (= \Delta R \times I)$  will increase small 1/S time.

[0010] On the other hand, supposing it sets calorific value P constant and reduces MRh to said width of recording track Tw and height length 1/S, since the resistance R of multilayers is fixed, and resistance variation  $\Delta R$  is therefore also fixed and sense current I is fixed, output  $\Delta V$  will become constant

value.

[0011] On the other hand, as for the case of the magnetic sensing element of the CPP (current perpendicular to the plane) mold which passes sense current perpendicularly to each film surface of multilayers, an output ( $\Delta V$ ) changes as follows.

[0012] Drawing 25 is the mimetic diagram of the magnetic sensing element of a CPP mold. The width of recording track decided by the width of face of the upper surface of the free magnetic layer of the multilayers of said magnetic sensing element is shown by  $T_w$  like drawing 24, and the length to  $T$  and the height direction (the direction of illustration  $Y$ ) of said multilayers of the thickness of said multilayers is  $MR_h$ .

[0013] Supposing it sets constant current density ( $J=I/(T_w \times MR_h)$ ) and Thickness  $T$  and reduces said width of recording track  $T_w$  and height length  $MR_h$  by  $1/S$  time like the case of the CIP mold described above here,  $R$  will become the  $S^2$  twice as many resistance of said multilayers as this, and, therefore, resistance variation  $\Delta R$  will also become  $S^2$  twice. Moreover, sense current  $I$  becomes  $1/S$  twice. Therefore, output  $\Delta V (= \Delta R \times I)$  is fixed.

[0014] On the other hand, supposing it sets calorific value  $P$  constant and reduces said width of recording track  $T_w$  and height length  $MR_h$  by  $1/S$  time,  $R$  will become the  $S^2$  twice as many resistance of multilayers as this, and, therefore, resistance variation  $\Delta R$  will also become  $S^2$  twice. Moreover, since sense current  $I$  becomes  $1/S$  time, output  $\Delta V$  increases large  $S$  times.

[0015] Thus, when narrow-ization of element size progressed, the direction used as a CPP mold rather than a CIP mold could enlarge playback output  $\Delta V$ , and it was expected that a CPP mold could respond to narrow-ization of the element size accompanying a raise in future recording density appropriately.

[0016]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] however, when said width of recording track  $T_w$  and the length  $MR_h$  to the height direction were not set to 0.1 micrometers or less, and element area did not become two or less [ 0.01-micrometer ] namely,, as for the magnetic sensing element of a CPP mold, it turned out that a high playback output cannot be obtained more effectively than a CIP mold.

[0017] Although it is thought that element size becomes small gradually with a raise in future recording density Forming the magnetic sensing element which has the element area of 0.1-micrometer angle In the precision of the photolithography technology in this time, while it is very difficult It is thought that it becomes impossible to detect the leakage magnetic field from a record medium by said magnetic sensing element effectively, and the fall of a playback output and the fall of the stability of a playback wave are caused even if it makes element size small too much not much.

[0018] Then, this invention is for solving the above-mentioned conventional technical problem, and without making optical element size small, effectual element size can be made small and it aims at offering the magnetic sensing element which can raise a playback output effectively and easily, and its manufacture method.

[0019]

[Means for Solving the Problem] This invention is characterized by preparing multilayers which have an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, and a free magnetic layer, and preparing a current-limiting layer to which the insulating section and a current carrying part were directly intermingled through other layers on either [ at least ] the upper surface of said free magnetic layer, or the inferior surface of tongue in a magnetic sensing element to which current flows to a film surface and a perpendicular direction of each class of said multilayers.

[0020] This invention is the magnetic sensing element of a CPP mold, and sense current flows to a film surface and a perpendicular direction of each class of said multilayers.

[0021] Therefore, by this invention, although said sense current flows the inside of said current-limiting layer perpendicularly, since said current-limiting layer directly prepared in at least the upper surface or one side of a free magnetic layer through other layers is considered as a configuration in which the insulating section and a current carrying part are intermingled, said sense current will flow only in said current carrying part.

[0022] For this reason, sense current which flows in a free magnetic layer through said current-limiting layer from an electrode layer flows the inside of said free magnetic layer locally only into said current carrying part and a portion which counters (current density of this portion will become high locally).

[0023] Therefore, according to this invention, even if it forms greatly element area (this element area is called optical element area) of a free magnetic layer in a direction parallel to a film surface to the same extent with the former, sense current actually flows in said free magnetic layer. Element area (this element area is called effectual element area) which participates in a magneto-resistive effect can be made small. Therefore, even if optical element size forms said magnetic large sensing element using photolithography technology of having a precision comparable as the former, a magnetic sensing element of a CPP mold with a high playback output can be formed easily.

[0024] Moreover, since element size can be greatly formed to the same extent with the former, it is possible to detect an external magnetic field from a record medium by said magnetic sensing element effectively, and it is possible to aim at improvement in a playback output and improvement in the stability of a playback wave.

[0025] Moreover, it is desirable that a noble-metals material layer is formed in either an inferior surface of tongue of said current-limiting layer or the upper surface and both in this invention. At this invention, said current-limiting layer needs for contrast of conductivity of opening (namely, portion used as a current path of sense current) and non-opening to be high, when this is seen in the longitudinal section (field cut from thickness).

[0026] As the above-mentioned contrast is a bad example and drawing 26 is shown in drawing 26, an insulator layer (insulating section) which has irregularity in the GMR film top whole surface is formed. Formation of such an insulator layer is the case where oxidation progresses beyond necessity. And an electric conduction film is formed on this insulator layer, and a current-limiting layer consists of this insulator layer and an electric conduction film. However, in an example shown in drawing 26, since said insulator layer is formed in the whole surface on a GMR film, although current (shown by arrow head) which passes through the inside of this current-limiting layer becomes easy to flow into a portion of a thin insulator layer of thickness, it cannot narrow down a current path appropriately, and  $\Delta R^*A$  on appearance (resistance variation \* element area) does not improve appropriately only by contact resistance increasing.

[0027] On the other hand, drawing 27 is an example with the above-mentioned good contrast, and as shown in drawing 27, a current-limiting layer is formed on a substrate layer formed with noble metals on a GMR film.

[0028] On said substrate layer, it is dotted with an insulator layer (insulating section) which constitutes said current-limiting layer for example, in the shape of an island, and it is formed, between said insulator layers, it applies to the upper surface from an inferior surface of tongue, two or more holes are formed, and this hole serves as opening. and an electric conduction film (current carrying part) -- this hole -- inside is filled. In an example shown in drawing 27, contrast of opening (hole) and non-opening (insulating section) is good, current (shown by arrow head) which flows the inside of said current-limiting layer is concentrated on said opening, it flows, and a current path is narrowed down appropriately. Therefore, it can be comparing with an example of drawing 26, upper  $\Delta R^*A$  (resistance variation \* element area) can be raised, and improvement in reproducing characteristics, such as a playback output, can be aimed at appropriately.

[0029] It is desirable to cover with a substrate layer of noble metals for making the above-mentioned contrast good, as shown in drawing 27. A substrate layer of said noble metals can have small surface energy (gammas), and an insulator layer of the shape for example, of an island can be appropriately grown up on said substrate layer. Thus, it calls it Volmer-Weber(VW) mold growth to carry out film growth to the shape of an island. details of this VW mold growth -- the Magnetics Society of Japan -- "thin film growth process introduction" Vol.14 and No. -- please refer to 3 and 1990 (P527-P531).

[0030] moreover, a thing covered with a substrate layer of said noble metals -- for example, when the shape of an island is made to carry out film growth of the metaled thin film on said substrate layer and this thin film is oxidized, this oxidation does not attain to even a GMR film currently formed in the



bottom of said substrate layer. If oxidation attains to even a GMR film, contrast will get worse like drawing 26, but since oxidation does not attain to even a GMR film, contrast of opening and non-opening can be kept good.

[0031] Moreover, by preparing a layer (protective layer) which consists of said noble-metals element on said current-limiting layer, oxygen is not spread even in a layer formed on said current-limiting layer of heat treatment performed after said current-limiting stratification and into a manufacturing process, but still good contrast can be maintained.

[0032] As for said noble-metals material layer, in this invention, it is desirable to be formed among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials. Or it replaces with said noble-metals material layer, and Cu layer may be formed.

[0033] Moreover, it is desirable that said current-limiting layer is directly prepared in a current attainment side side of said free magnetic layer through other layers in this invention at least. Since this narrows down a current path of sense current appropriately and effectual element area can be made small, it becomes possible to manufacture a CPP mold MAG sensing element with a high playback output.

[0034] moreover, an insulating material film with which two or more holes with which said insulating section of said current-limiting layer leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer at least were prepared in this invention -- it is -- this hole -- it is desirable that a conductive material film used as said current carrying part is embedded inside.

[0035] Or in this invention, said insulating section of said current-limiting layer has a slot which extends succeeding a time of seeing from a plane parallel to a film surface, this slot is formed even through an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer, and it is desirable that a conductive material used as said current carrying part is embedded at said Mizouchi.

[0036] Or it is the insulating material film with which a hole with which said insulating section of said current-limiting layer leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer at this invention, and a slot which extends succeeding a time of seeing from a plane parallel to a film surface, and leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer were intermingled, and it is desirable that a conductive material used as said current carrying part is embedded at said hole and Mizouchi.

[0037] Moreover, as for said insulating material film, in this invention, being formed at an oxide film or a nitride is desirable. As for said oxide film, at this time, it is desirable to be formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and insulating material that consists of any one sort or two sorts or more of oxides among rare earth elements.

[0038] Moreover, as for said nitride, it is desirable to be formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and insulating material that consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among rare earth elements.

[0039] Or in this invention, said current carrying part of said current-limiting layer is a conductive particle, and, as for said conductive particle, it is desirable to distribute in an insulating material layer used as said insulating section.

[0040] As for said current-limiting layer, as a concrete example, it is desirable that it is the film configuration distributed the inside of amorphous where a microcrystal grain used as said current carrying part which used Fe as a principal component serves as said insulating section containing one sort or two sorts or more of elements M and O chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements or a compound with N.

[0041] In addition, said current-limiting layer has an empirical formula of  $\text{FeaMbOc}$ , it is atomic % and it is [ the presentation ratios a, b, and c are  $40 \leq a \leq 50$ ,  $10 \leq b \leq 30$ , and  $20 \leq c \leq 40$ , and ] desirable [ the ratios ] in the above-mentioned case, to fill relation it is unrelated  $a+b+c=100$ .

[0042] Moreover, in this invention, said current-limiting layer has an empirical formula of  $\text{FedMeNf}$ , the presentation ratios d, e, and f are atomic %, it is  $60 \leq d \leq 70$ ,  $10 \leq e \leq 15$ , and  $19 \leq f \leq 25$ , and it is desirable to fill relation it is unrelated  $d+e+f=100$ .

[0043] Moreover, in this invention, said insulating material film is the layer in which Co mainly

oxidized, and a conductive particle formed in this insulating material film with any one sort or two sorts or more of metallic materials among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag may be distributing it.

[0044] Or in this invention, said insulating section of said current-limiting layer is an insulating particle, and said insulating particle may be distributed in a conductive material film used as said current carrying part.

[0045] In the above-mentioned current-limiting layer, it can consider as a film configuration in which the insulating section and a current carrying part are all intermingled appropriately, and it is possible to attain narrow-ization of effectual element size appropriately.

[0046] Moreover, a manufacture method of a magnetic sensing element in this invention is characterized by having the following production processes.

(a) The bottom to 1st electrode layer, an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, And a production process which carries out the laminating of the multilayers in order of a free magnetic layer, carries out spatter membrane formation of the insulating material film further on the upper surface of said free magnetic layer, and forms two or more holes which lead to said insulating material film from the upper surface of said insulating material film even on the inferior surface of tongue at this time, (b) -- a hole which carried out spatter membrane formation of the conductive material film, and was formed on said insulating material film at said insulating material film at this time -- a production process which fills inside with said conductive material film, and (c) -- a production process which forms the 2nd electrode layer on a current-limiting layer which consisted of said insulating material film and a conductive material film.

[0047] an insulating material film by which two or more holes which lead even to the upper surface from an inferior surface of tongue were easily prepared in the upper surface of a free magnetic layer according to the above-mentioned production process, and this hole -- it is possible to form easily a current-limiting layer which consists of electrical conducting material layers embedded inside.

[0048] Moreover, it is desirable to form a substrate layer which consists of a noble-metals element, and to form said insulating material film on said substrate layer after that at the aforementioned (a) production process, in this invention. It is desirable to form said substrate layer among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials at this time.

[0049] Or at the aforementioned (a) production process, a substrate layer which consists of Cu may be formed and said insulating material film may be formed on said substrate layer after that.

[0050] Moreover, when carrying out spatter membrane formation of said insulating material film at the aforementioned (a) production process in this invention, it is desirable to form said insulating material film as a discontinuum film on said free magnetic layer or a substrate layer. It becomes easy for this to form two or more holes which lead to said insulating material film from an inferior surface of tongue even on the upper surface. In order to use said insulating material film as a discontinuum film, selection and spatter conditions of a material are important. Spatter conditions are substrate temperature, the distance between Ar gas pressure, a substrate, and a target, etc.

[0051] Moreover, if it covers with a substrate layer which consists of said noble-metals element as described above, it will become easy to form said especially insulating material film as a discontinuum film. The reason of surface energy of said substrate layer is low compared with the GMR film surface, and is because an element condenses and it is easy to form a nucleus.

[0052] In this invention, said insulating material film Moreover, aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Spatter membrane formation is carried out by insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of oxides among Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co. It is desirable to stop a spatter, where a slot which extends on said insulating material film succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue at this time is left behind.

[0053] In this invention, it sets at the time of formation of an insulating material film of the aforementioned (a) production process. First Moreover, Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Any one sort or two sorts or more of metallic elements are formed by spatter among Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and rare earth elements. It is desirable to oxidize a film which consists a

spatter of said metallic element a stop and after that, where a slot which extends on a film which consists of this metallic element succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue is left behind, and to use this oxide film as an insulating material film.

[0054] As described above, when an oxidation production process is required, by covering the bottom of said current-limiting layer with a substrate layer formed by noble-metals element especially, it can avoid appropriately that said oxidation attains to a GMR film formed in the bottom of said substrate layer, and contrast of opening of said current-limiting layer and non-opening can be kept good.

[0055] In this invention, said insulating material film Moreover, aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Spatter membrane formation is carried out by insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co. It is desirable to stop a spatter, where a slot which extends on said insulating material film succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue at this time is left behind.

[0056] Or in this invention, it sets at the time of formation of an insulating material film of the aforementioned (a) production process. First Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Any one sort or two sorts or more of metallic elements are formed by spatter among Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and rare earth elements. It is desirable to nitride a film which consists a spatter of said metallic element a stop and after that, where a slot which extends on a film which consists of this metallic element succeeding a time of seeing from a plane parallel to two or more holes or a film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue is left behind, and to use this nitride as an insulating material film.

[0057] Moreover, a manufacture method of a magnetic sensing element in this invention is characterized by having the following production processes. (d) The bottom to 1st electrode layer, an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, The laminating of the multilayers is carried out in order of a free magnetic layer. Further and on the upper surface of said free magnetic layer It has an empirical formula and the presentation ratios a, b, and c are atomic %s.  $\text{FeaMbOc}$  (however, one sort or two sorts or more of elements with which Element M is chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements) -- Relation it is unrelated  $a+b+c=100$  is filled with  $40 \leq a \leq 50$ ,  $10 \leq b \leq 30$ , and  $20 \leq c \leq 40$ . Moreover, a production process to which spatter membrane formation of the current-limiting layer which has a film configuration distributed the inside of amorphous where a microcrystal grain which used Fe as a principal component contains a compound with Elements M and O is carried out and a production process which forms the 2nd electrode layer on the (e) aforementioned current-limiting layer.

[0058] It is desirable that heat-treat the above-mentioned current-limiting layer in this invention, promote oxidation of an element in which it tends to oxidize in a film by this heat treatment, and opening of said current-limiting layer adjusts comparatively (ratio). As for a rate of said opening, it is desirable that it is 10% - about 30% of the whole.

[0059] Or it replaces with  $\text{FeaMbOc}$  of the aforementioned (d) production process in this invention, and is  $\text{FedMeNf}$  (however, Element M). It has an empirical formula which consists of one sort or two sorts or more of elements chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, and the presentation ratios d, e, and f are atomic %s. A microcrystal grain which filled with  $60 \leq d \leq 70$ ,  $10 \leq e \leq 15$ , and  $19 \leq f \leq 25$  relation it is unrelated  $d+e+f=100$ , and used Fe as a principal component may carry out spatter membrane formation of the current-limiting layer which has a film configuration distributed the inside containing a compound with Elements M and N of amorphous.

[0060] By above-mentioned manufacture method, a microcrystal grain which used Fe as a principal component can form easily in the upper surface of a free magnetic layer a current-limiting layer distributed the inside containing one sort or two sorts or more of elements M and O chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, or a compound with N of amorphous.

[0061] Moreover, by this invention, it replaces with  $\text{FeaMbOc}$  of the aforementioned (d) production process, and after carrying out spatter membrane formation of the material which contains any one sort

or two sorts or more of metallic elements for a current-limiting layer with Co among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag, by performing heat treatment, it may oxidize and Co may be formed.

[0062] Moreover, before forming said current-limiting layer in the aforementioned (d) production process in this invention, it is desirable to form in the upper surface of said free magnetic layer a substrate layer which consists of a noble-metals material.

[0063] As especially described above, when using a manufacturing process which it heat-treats [ manufacturing process ] to a current-limiting layer, and advances a rate of an oxidizing zone, it is able to make it for oxidation not to attain to even a GMR film formed in the bottom of said substrate layer by preparing a substrate layer which consists of a noble-metals element in the bottom of said current-limiting layer.

[0064] In addition, it is desirable to form said substrate layer among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials. Or in the aforementioned (d) production process, before forming said current-limiting layer, it is desirable to form in the upper surface of said free magnetic layer a substrate layer which consists of Cu.

[0065] Moreover, it is desirable to form a protective layer which becomes the upper surface of said current-limiting layer from any one sort or two sorts or more of noble-metals materials among Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re after forming said current-limiting layer at this invention. Or although heat treatment may be performed after forming a protective layer which consists of Cu forms said current-limiting layer in the upper surface of said current-limiting layer in a manufacturing process of a desirable magnetic sensing element after forming a current-limiting layer, it is possible to prevent appropriately diffusion of oxygen to a layer formed on said current-limiting layer by having prepared a protective layer which consists of said noble-metals element. In addition, in this case, said protective layer can be used as the 2nd electrode layer.

[0066] Moreover, by this invention, the laminating of the multilayers may be carried out from the bottom in order of a 1st electrode layer, current-limiting layer, free magnetic layer, and nonmagnetic interlayer, a fixed magnetic layer, and an antiferromagnetism layer.

[0067]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 is the fragmentary sectional view which looked at the magnetic whole sensing element (single spin bulb mold magneto-resistive effect element) structure of the 1st operation gestalt of this invention from the opposed face side with a record medium. In addition, drawing 1 fractures and shows only a part for the center section of the element prolonged in the direction of X.

[0068] The shield layer (not shown) is prepared through the gap layer (not shown), and said magnetic sensing element, a gap layer, and a shield layer are doubled, and it is called an MR head to the upper and lower sides of the magnetic sensing element shown in drawing 1.

[0069] In addition, when the electrode layers 20 and 33 shown in drawing 1 may serve as said gap layer or said electrode layers 20 and 33 are formed with a magnetic material, you may serve as the shield layer.

[0070] Said MR head is for reproducing the external signal recorded on the record medium. Moreover, in this invention, the laminating of the inductive head for record may be carried out on said MR head. The shield layer (up shield layer) formed in said magnetic sensing element bottom may be made to serve a double purpose as a lower core layer of said inductive head.

[0071] Moreover, said MR head is formed on the trailing end face of the slider formed for example, with alumina-titanium carbide (aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC). Said slider is joined to the supporter material by stainless steel material etc. in which elastic deformation is possible by the opposed face [ with a record medium ], and reverse side side, and magnetic-head equipment is constituted.

[0072] The sign 20 shown in drawing 1 is the 1st electrode layer. Said 1st electrode layer 20 is formed by alpha-Ta, Au, Cr and Cu (copper), W (tungsten), etc.

[0073] The substrate layer 21 is formed in the center of the upper surface of said 1st electrode layer 20. As for said substrate layer 21, it is desirable to be formed by at least one or more sorts in Ta, Hf, Nb, Zr, Ti, Mo, and W. Said substrate layer 21 is formed by the thickness of 50A or less degree. In addition, this

substrate layer 21 does not need to be formed.

[0074] Next, the seed layer 22 is formed on said substrate layer 21. Said seed layer 22 consists mainly of a face-centered cubic, and priority orientation of the field (111) is carried out in the direction parallel to an interface with the antiferromagnetism layer 23 explained below. As for said seed layer 22, it is desirable to be formed with a NiFe alloy or a nickel-Fe-Y alloy (however, at least one or more sorts as which Y is chosen from Cr, Rh, Ta, Hf, Nb, Zr, and Ti). A field (111) becomes easy to carry out priority orientation of the seed layer 22 formed with these quality of the materials by being formed on the substrate layer 21 formed by Ta etc. in the direction parallel to an interface with the antiferromagnetism layer 23. Said seed layer 22 is formed by about 30A.

[0075] In addition, since the magnetic sensing element in this invention is a CPP mold with which sense current flows to the film surface and perpendicular direction of each class, it has the need that sense current flows suitable also for said seed layer 22. Therefore, as for said seed layer 22, it is desirable that it is not the high quality of the material of specific resistance. That is, as for said seed layer 22, in a CPP mold, it is desirable to be formed with the low quality of the material of specific resistance, such as a NiFe alloy. In addition, said seed layer 22 does not need to be formed.

[0076] Next, the antiferromagnetism layer 23 is formed on said seed layer 22. As for said antiferromagnetism layer 23, it is desirable to be formed with the antiferromagnetism material containing Elements X (however, for X to be one sort or two sorts or more of elements among Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, and Os) and Mn. Or said antiferromagnetism layer 23 is Element X and element X' (however, element X'). Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, aluminum, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, nickel, Cu, Zn, Ga, germanium, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb, and the inside of rare earth elements -- one sort or two sorts or more of elements -- it is -- being formed with the antiferromagnetism material containing Mn is desirable.

[0077] These antiferromagnetism materials may generate a big exchange anisotropy magnetic field in an interface with the fixed magnetic layer 24 which is excellent in corrosion resistance, and blocking temperature is also high and is moreover explained below. Moreover, as for said antiferromagnetism layer 23, it is desirable to be formed by thickness 300A or less by 80A or more.

[0078] Next, the fixed magnetic layer 24 is formed on said antiferromagnetism layer 23. With this operation gestalt, said fixed magnetic layer 24 is formed by the three-tiered structure.

[0079] The layer of the signs 51 and 53 which constitute said fixed magnetic layer 24 is a magnetic layer, for example, is formed by Co, CoFe, NiFe, CoFeNi, etc. Said magnetic layer 51 and the interlayer 52 formed by Ru etc. among 53 intervene, and this configuration changes mutually the magnetization direction of said magnetic layer 51 and said magnetic layer 53 into an anti-parallel condition. This is called the so-called artificial ferry structure.

[0080] When an exchange anisotropy magnetic field occurs by heat treatment among a magnetic field between said antiferromagnetism layer 23 and the magnetic layer 51 which touches said antiferromagnetism layer 23 of said fixed magnetic layer 24, for example, magnetization of said magnetic layer 51 is fixed in the height direction (the direction of illustration Y), the height direction is magnetized by hard flow (the direction of illustration Y, and hard flow), and another magnetic layer 53 is fixed by the RKKY interaction. The exchange anisotropy magnetic field which changes into the condition that magnetization of said fixed magnetic layer 24 was stabilized by this configuration, and is generated in the interface of said fixed magnetic layer 24 and said antiferromagnetism layer 23 can be enlarged seemingly.

[0081] In addition, for example, the thickness of said magnetic layers 51 and 53 is formed by about 10-70A, respectively. Moreover, an interlayer's 52 thickness is formed by 3A - about 10A.

[0082] Moreover, as the magnetic moments per unit area differ, respectively, as for said magnetic layers 51 and 53, the quality of the material and thickness of said magnetic layers 51 and 53 differ from each other, respectively. When said magnetic moment is set up by the saturation magnetization  $M_{sx}$  thickness  $t$ , for example, said magnetic layers 51 and 53 are both formed with the material of the same presentation by the same quality of the material, the magnetic moment of said magnetic layers 51 and 53 can be changed by changing the thickness of said magnetic layers 51 and 53. It is possible to make said

magnetic layers 51 and 53 into artificial ferry structure appropriately by this.

[0083] In addition, by this invention, said fixed magnetic layer 24 may be formed by monolayer or cascade screens, such as not ferry structure but a NiFe alloy, a NiFeCo alloy, or a CoFe alloy.

[0084] The nonmagnetic interlayer 25 is formed on said fixed magnetic layer 24. Said nonmagnetic interlayer 25 is formed with a conductive material with low electric resistance, such as Cu. Said nonmagnetic interlayer 25 is formed by about 25Å thickness.

[0085] Next, the free magnetic layer 26 is formed on said nonmagnetic interlayer 25. As for said free magnetic layer 26, it is desirable that it is formed with two-layer structure and the Co film 54 is formed in the side which counters with said nonmagnetic interlayer 25. Diffusion of the metallic element in an interface with said nonmagnetic interlayer 25 etc. can be prevented by this, and resistance rate of change ( $\Delta GMR$ ) can be enlarged. Moreover, it is desirable that the magnetic layer 55 formed with a NiFe alloy, a CoFe alloy, Co, a CoNiFe alloy, etc. is formed on said Co film 54. Moreover, as for the thickness of said whole free magnetic layer 26, it is desirable to be formed by the thickness of 100Å or less degree by 20Å or more.

[0086] In addition, said free magnetic layer 26 may be formed by 1 layer structure which used one of the above-mentioned magnetic materials.

[0087] The current-limiting layer 27 is formed on said free magnetic layer 26. The membrane structure of said current-limiting layer 27 etc. is explained in detail later.

[0088] In this invention, the both-sides end faces 28a and 28b of the truck cross direction (the direction of illustration X) of the multilayers 28 from said substrate layer 21 to said current-limiting layer 27 are the continuous inclined planes, and said multilayers 28 serve as abbreviation trapezoidal shape.

[0089] As shown in drawing 1, the insulating layer 29 is formed in the both-sides field of the truck cross direction of said multilayers 28. Said insulating layer 29 is formed by general insulating materials, such as aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>.

[0090] As for upper surface 29a of said insulating layer 29, it is more desirable than the inferior surface of tongue of said free magnetic layer 26 to be formed in the illustration bottom (for an illustration Z direction to be hard flow).

[0091] The bias substrate layer 30 is formed on said insulating layer 29. Moreover, the hard bias layer 31 is formed on said bias substrate layer 30. Said hard bias layer 31 is formed in the location which counters the both sides of said free magnetic layer 26. Said hard bias layer 31 is magnetized crosswise [ truck ] (the direction of illustration X), and magnetization of said free magnetic layer 26 is arranged in the direction of illustration X by the vertical bias magnetic field from said hard bias layer 31.

[0092] Said bias substrate layer 30 is formed in order to raise the property (coercive force  $H_c$ , a remanence ratio  $S$ ) of said hard bias layer 31.

[0093] As for said bias substrate layer 30, in this invention, it is desirable that the crystal structure is formed at the metal membrane of body-centered cubic structure (bcc structure). In addition, as for the crystal orientation of said bias substrate layer 30, it is desirable at this time that a field (100) carries out priority orientation.

[0094] Moreover, said hard bias layer 31 is formed with a CoPt alloy, a CoPtCr alloy, etc. The crystal structure of these alloys serves as hexagonal close packed structure (hcp) single phase or a mixed phase of face centered cubic structure (fcc) and hexagonal close packed structure (hcp).

[0095] Since the lattice constant of the hcp structure of the CoPt system alloy which constitutes the bias substrate layer 30 formed by the above-mentioned metal membrane and the hard bias layer 31 here serves as a near value, a CoPt system alloy becomes that it is easy to be formed by hcp structure that it is hard to form fcc structure. At this time, priority orientation of the c-axis of hcp structure is carried out into the interface of a CoPt system alloy and a bias substrate layer. Since said hcp structure produces a big magnetic anisotropy in the direction of a c-axis compared with fcc structure, the coercive force  $H_c$  when giving a magnetic field to the hard bias layer 31 becomes large. Furthermore, since the c-axis of hcp serves as priority orientation in the interface of a CoPt system alloy and a bias substrate layer, residual magnetization increases and the remanence ratio  $S$  called for by residual magnetization/saturation magnetic flux density becomes large. Consequently, the property of said hard

bias layer 31 can be raised, and the bias magnetic field generated from said hard bias layer 31 can be increased.

[0096] As for the metal membrane of body-centered cubic structure (bcc structure), it is desirable that the crystal structure is formed in this invention by any one sort or two sorts or more of elements of Cr, W, Mo, V, Mn, Nb, and Ta.

[0097] Moreover, in this invention, although it is desirable to be formed only in the hard bias layer 31 bottom as for said bias substrate layer 30, you may intervene a little also between both-sides end-face 28a of said multilayers 28, and the hard bias layer 31. As for the thickness in the truck cross direction (the direction of illustration X) of the bias substrate layer 30 formed in both-sides end-face 28a of said multilayers 28, it is desirable that it is 1nm or less.

[0098] Since said hard bias layer 31 and free magnetic layer 26 are made magnetically by this at a continuum, the edge of said free magnetic layer 26 does not generate problems, such as a buckling phenomenon in which it is influenced of an anti-magnetic field,, either, but can make easy magnetic-domain control of said free magnetic layer 26.

[0099] Moreover, as shown in drawing 1 , the insulating layer 32 is formed on said hard bias layer 31. Said insulating layer 32 is formed by general insulating materials, such as aluminum 2O3 and SiO2.

[0100] In addition, although flattening of the upper surface of said insulating layer 32 and the upper surface of the current-limiting layer 27 is carried out on the same side with this operation gestalt, the upper surface of said insulating layer 32 and the upper surface of said current-limiting layer 27 do not need to be on the same field.

[0101] And it applies on the current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32, and the 2nd electrode layer 33 is formed. Said 2nd electrode layer 33 is formed by alpha-Ta, Au, Cr and Cu (copper), W (tungsten), etc. like said 1st electrode layer 20.

[0102] With this operation gestalt, although sense current flows towards the 1st electrode layer 20 from said 2nd electrode layer 33, said sense current may flow towards the 2nd electrode layer 33 from the 1st electrode layer 20. Therefore, said sense current flows each class in multilayers 28 to a film surface and a perpendicular direction, and the flow direction of such sense current is called a CPP mold.

[0103] In this magnetic sensing element, detection current (sense current) is given to the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic middle class 25, and the free magnetic layer 26, the transit direction of record media, such as a hard disk, is a Z direction, and if the leak magnetic field from a record medium is given in the direction of Y, magnetization of the free magnetic layer 26 will change from the one direction of the direction of illustration X towards the direction of Y. Electric resistance changes by the relation between fluctuation of the direction of magnetization within this free magnetic layer 26, and the fixed magnetization direction of the fixed magnetic layer 24 (this is called magneto-resistive effect), and the leak magnetic field from a record medium is detected by the voltage change based on this electric resistance value change.

[0104] By the way, in this invention, as shown in drawing 1 , the current-limiting layer 27 is formed between said free magnetic layer 26 and the 2nd electrode layer 33.

[0105] The current-limiting layer 27 in this invention is a film configuration shown in drawing 9 . Drawing 9 is the partial mimetic diagram of the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic interlayer 25, the free magnetic layer 26, and the current-limiting layer 27.

[0106] As shown in drawing 9 , as for said current-limiting layer 27, the insulating material film (insulating section) 57 with which two or more holes 56 were formed serves as a base material. Some [ at least ] holes 56 have penetrated said insulating material film 57 even from an inferior surface of tongue to the upper surface among said holes 56.

[0107] As shown in drawing 9 , on said insulating material film 57, the conductive material film (current carrying part) 58 is formed. Said conductive material film 58 is formed also in the hole 56 formed in said insulating material film 57, and it will be buried by said hole 56 with said conductive material film 58. In addition, by drawing 9 , in order to make the publication on a drawing brief, \*\*\*\* "the conductive material film 58" film [ "a hole 56" and ] Becoming is entered only in some holes.

[0108] As for said insulating material film 57, being formed by the oxide film or the nitride is desirable



here. Moreover, as for said oxide film, it is desirable to be formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pd, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and the insulating material that consists of any one sort or two sorts or more of oxides among rare earth elements. Moreover, as for a nitride, it is desirable to be formed by Ag, Cu, Zn, germanium, Pd, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and the insulating material that consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among rare earth elements.

[0109] These oxide films and a nitride are the quality of the materials which condense in the case of spatter membrane formation, and are easy to become a discontinuum film, when membranes are thinly formed on said free magnetic layer 26. If it becomes said discontinuum film, the hole 56 penetrated even from the upper surface as shown in drawing 9 to an inferior surface of tongue will become said insulating material film 57 is easy to be formed.

[0110] Moreover, it is an element not only with selection of the quality of the material but important spatter conditions whether it becomes said discontinuum film. The spatter conditions for using said insulating material film 57 as a discontinuum film are making substrate temperature low at 20 degrees C - about 200 degrees C, making Ar gas pressure high to 10 - 50mTorr (1.3-6.7Pa) degree, and separating distance between targets from a substrate to about 200-300mm etc.

[0111] In addition, in the above-mentioned spatter membrane formation, RF spatter, the RF magnetron sputtering method, the DC magnetron sputtering method, the ion beam spatter method, the long slow spatter method, the collimation spatter method, or the spatter that combined them can be used, for example.

[0112] Next, although a common conductive material can be used for the conductive material film 58, for example, it can also form by alpha-Ta, Au, Cr and Cu (copper), W (tungsten), etc. like the electrode layers 20 and 33, as for said conductive material film 58, it is desirable to be formed among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re from any one sort or two sorts or more of noble-metals elements. In addition, Cu may be added.

[0113] A noble-metals element is the quality of the material which cannot oxidize easily in itself, by forming the conductive material film 58 formed from said noble-metals element on the insulating material film 57 and in the hole 56, diffusion of oxygen can be controlled by heat treatment etc. and the contrast of opening (hole) and non-opening (insulating material layer) which are shown in drawing 9 can be kept good.

[0114] By forming the current-limiting layer 27 in which the insulating section and a current carrying part were intermingled on the free magnetic layer 26, the following effects are expectable as mentioned above with this invention.

[0115] That is, like this invention, by the magnetic sensing element of a CPP mold, although the sense current which flows from the 2nd electrode layer 33 flows the inside of said current-limiting layer 27 to a film surface and a perpendicular direction, since it is considering as the structure which embedded the conductive material film (current carrying part) 58 in the hole 56 formed in the insulating material film (insulating section) 57 in said current-limiting layer 27, by this invention, said sense current will flow only in said conductive material film 58.

[0116] For this reason, the sense current which flows in the free magnetic layer 26 through said current-limiting layer 27 from the 2nd electrode layer 33 flows locally the inside of said free magnetic layer 26 only into said conductive material film 58 and the portion which counters (the current density of this portion will become high locally).

[0117] Therefore, according to this invention, even if it forms greatly the element area (this element area is called optical element area) of the free magnetic layer 26 in a direction parallel to a film surface to the same extent with the former, sense current actually flows in said free magnetic layer 26. Element area (this element area is called effectual element area) which participates in a magneto-resistive effect can be made small. Therefore, even if optical element size forms said magnetic large sensing element using the photolithography technology of having a precision comparable as the former, the magnetic sensing element of a CPP mold with a high playback output can be formed easily.

[0118] In addition, in this invention, a magnetic sensing element can be formed in an element area



comparable as the former as mentioned above, and the width of recording track  $T_w$  specifically shown in drawing 9 can be formed in 0.15-0.3 micrometers, and the height lay length  $MR_h$  can be formed in 0.15-0.3 micrometers, and, therefore, 0.02-0.09 micrometers of optical element area can be greatly formed in 2.

[0119] Moreover, as for said effectual element area, in this invention, it is desirable that it is [ 0.01 micrometer ] two or less. As how to ask for an effectual element area, an optical element area ( $T_w MR_h$ ) can be asked, for example, being able to apply the numerical aperture of a hole 56. It can ask for this in an outline from the difference of GMR film independent resistance and the resistance of the whole element containing an electrode.

[0120] Moreover, when said current-limiting layer 27 is seen from a plane parallel to a film surface, as for the rate of said opening (hole 56), it is desirable that it is 10% - about 30%.

[0121] Moreover, in this invention, since an optical element area is comparable as the former, it can detect the external magnetic field from a record medium by said magnetic sensing element effectively, and can manufacture the CPP mold MAG sensing element excellent in highly sensitive reproducing characteristics.

[0122] Moreover, in this invention, the film configuration of said current-limiting layer 27 can show not only a thing like drawing 9 but others a film configuration like drawing 10.

[0123] The slot 68 which extends succeeding the time of seeing said current-limiting layer from a direction parallel to a film surface is formed in said insulating material film 57 of the current-limiting layer 27 shown in drawing 10, and this slot 68 is formed in it even through the inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer 27. Although the shape of a plan type of said slot 68 is the curve of \*\* length or is carrying out branch separation on the way, a configuration may be what kind of thing. And the electrical conducting material film 58 is formed in said slot 68 and on the insulating material layer 57. The difference in the configuration of the insulating material film 57 of this drawing 9 and drawing 10 is based on the difference in the nuclear growth of a thin film. If the thin film (layer which becomes the radical of the insulating material film 57 or the insulating material film 57) grows in the shape of an island first and is further grown up on the free magnetic layer 26, these islands will begin to adhere and it will form a slot 68 like drawing 10 which extends continuously.

[0124] That is, the shape of a plan type of said current-limiting layer 27 changes by in which phase growth of a thin film is stopped. It is important that the hole 56 or slot 68 penetrated from an inferior surface of tongue on the upper surface on the insulating material film 57 which constitutes said current-limiting layer 27, applying is formed appropriately here. If such a hole 56 or a slot 68 penetrates and is formed, the conductive material film 58 embedded in this hole 56 or a slot 68 serves as a path which passes current to the free magnetic layer 26, and can narrow down a current path appropriately. This is as by the way drawing 26 and drawing 27 having already explained, in this invention, like drawing 27, the insulating material film has not covered the free magnetic layer top completely, the hole and slot which are penetrated in some places are prepared, and the conductive material layer is embedded at this hole and Mizouchi.

[0125] In addition, although drawing 27 is the example in which the substrate layer which consists of a noble-metals element was prepared in the bottom of said current-limiting layer 27, it is explained in full detail with reference to a drawing about this example later.

[0126] Moreover, like drawing 10, on the insulating material film 57 of said current-limiting layer 27, it extends succeeding the time of seeing from the hole 56 which leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer 27, and a plane parallel to a film surface, and the slot 68 which leads even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer 27 may be intermingled on it.

[0127] Next, although the current-limiting layer 27 shown in drawing 9 consists of an insulating film 57 with which two or more holes 56 were formed, and a conductive material film 58 which buries this hole 56, in this invention, the current-limiting layer 27 which has the following film configurations is sufficient as it.

[0128] By this invention, the target of an insulating material and the target of a conductive material can

be prepared, for example, and the current-limiting layer 27 in which the particle of an insulating material and the particle of a conductive material were intermingled can be formed on said free magnetic layer 26 by carrying out the spatter of these two targets to coincidence.

[0129] The current carrying part of said current-limiting layer 27 is a conductive particle, and, specifically, said conductive particle can offer the film configuration currently distributed in the insulating material film used as the insulating section.

[0130] When the current-limiting layer 27 which has the above-mentioned film configuration is illustrated, said current-limiting layer 27 is the film configuration distributed the inside of amorphous where the microcrystal grain used as the current carrying part which used Fe as the principal component serves as the insulating section containing one sort or two sorts or more of elements M and O chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, or a compound with N.

[0131] In this current-limiting layer 27, it has the empirical formula of  $\text{FeaMbOc}$ , and the presentation ratios a, b, and c are atomic %s, it is  $40 \leq a \leq 50$ ,  $10 \leq b \leq 30$ , and  $20 \leq c \leq 40$ , and it is desirable to fill the relation it is unrelated  $a+b+c=100$ .

[0132] Or in said current-limiting layer 27, it has the empirical formula of  $\text{FedMeNf}$ , and the presentation ratios d, e, and f are atomic %s, it is  $60 \leq d \leq 70$ ,  $10 \leq e \leq 15$ , and  $19 \leq f \leq 25$ , and it is desirable to fill the relation it is unrelated  $d+e+f=100$ .

[0133] Formation of the above-mentioned current-limiting layer 27 prepares two, the target of Fe, and the target of  $\text{HfO}_2$ , and carries out the spatter of these two targets. Thereby, many microcrystal grains which used bccFe as the principal component can form said current-limiting layer 27 which deposited in the interior of the matrix of an amorphous phase.

[0134] In addition, in the above-mentioned spatter membrane formation, RF spatter, the RF magnetron sputtering method, the DC magnetron sputtering method, the ion beam spatter method, the long slow spatter method, the collimation spatter method, or the spatter that combined them can be used, for example.

[0135] Or in this invention, the insulating material film which constitutes said current-limiting layer 27 is the layer in which Co mainly oxidized, and can form the current-limiting layer 27 which the conductive particle formed in this insulating material film with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag is distributing.

[0136] Or the insulating section of said current-limiting layer 27 may be an insulating particle, and said insulating particle may be a film configuration currently distributed in the conductive material film used as a current carrying part.

[0137] In addition, common conductive materials, such as Cu, can be used for the above-mentioned conductive particle, and common insulating materials, such as aluminum  $2\text{O}_3$ , can also be used for an insulating particle.

[0138] Moreover, if the thickness of said current-limiting layer 27 is not thinner than the particle size of said conductive particle when forming the current-limiting layer 27 by the so-called granular membrane which made the conductive particle intermingled, as described above, said conductive particle will not function appropriately as a current path of sense current, but aggravation of reproducing characteristics, such as a playback output, will be caused.

[0139] Next, the thickness of the magnetic sensing element in this invention is explained below.

[0140] As for the comprehensive thickness T2 (refer to drawing 1) of said fixed magnetic layer 24 (however, magnetic layer 53 which is substantially contributed to a magneto-resistive effect in the case of drawing 1), the nonmagnetic interlayer 25, and the free magnetic layer 26, in this invention, it is desirable that it is 300Å or less in 60Å or more. For example, the thickness of said fixed magnetic layer 24 is [ the thickness of about 20Å and the free magnetic layer 26 of the thickness of about 20Å and the nonmagnetic interlayer 25 ] about 30Å.

[0141] Said comprehensive thickness T2 is the about the same as the mean free path of conduction electron in the comprehensive thickness T2 from said fixed magnetic layer 24 to the free magnetic layer 26 being 300Å or less in 60Å or more, or it becomes a degree a little smaller than it. For this reason, without scattering about the inside of said free magnetic layer 26, said conduction electron can be passed

freely and can aim at improvement in the resistance rate of change ( $\Delta MR$ ) of a magnetic sensing element. In addition, it declines [ a playback output ] that said comprehensive thickness T2 is thickness 60Å or less and is not desirable.

[0142] Moreover, in the magnetic sensing element shown in drawing 1, sense current flows toward the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 (reverse is sufficient), and said current-limiting layer 27 is the attainment side side (in drawing 1) of said sense current of said free magnetic layer 26. the time of sense current flowing toward the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 -- the upper surface of the free magnetic layer 26 -- the attainment side side of the conduction electron of sense current, and an inferior surface of tongue -- the passage side side of the conduction electron of sense current -- it is -- it is formed. Thereby, said sense current is effectively narrowed down in the portion of said current-limiting layer 27, can make effectual element area small, and can manufacture a CPP mold MAG sensing element with a high playback output.

[0143] Next, the focus of the membrane structure of the magnetic sensing element shown in drawing 1 is explained below. By the magnetic sensing element shown in drawing 1, although the hard bias layer 31 is formed in the both sides of the truck cross direction (the direction of illustration X) of said free magnetic layer 26, the upper and lower sides are surrounded by insulating layers 29 and 32.

[0144] For this reason, it is possible for the flowing sense current to shunt between said 1st electrode layer 20 and the 2nd electrode layer 33 toward the both-sides field of the multilayers 28 from the substrate layer 21 to the current-limiting layer 27, to follow in \*\*\*\*\*, and for said sense current to flow the inside of said multilayers 28 appropriately, and to obtain a high playback output.

[0145] Moreover, when said comprehensive thickness T2 is smaller than the mean free path of conduction electron, without changing the direction, conduction electron flows to direct and a perpendicular direction, and reaches other electrode layers. In this case, either may be omitted among insulating layers 29 and 32.

[0146] Hereafter, the film configuration of those other than the magnetic sensing element shown in drawing 1 is explained. Drawing 2 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element of the 2nd operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium. In addition, the layer to which the same sign as drawing 1 was attached is indicated to be the same layer as drawing 1.

[0147] With the operation gestalt shown in drawing 2, the multilayers 34 by which the laminating was carried out from the bottom in the order of the current-limiting layer 27, the free magnetic layer 26, the nonmagnetic interlayer 25, the fixed magnetic layer 24, and the antiferromagnetism layer 23 are formed in the central upper surface of said 1st electrode layer 20.

[0148] The both-sides end faces 34a and 34a in the truck cross direction (the direction of illustration X) of said multilayers 34 are the continuous inclined planes, and serve as abbreviation trapezoidal shape.

[0149] The laminating is carried out to the both-sides field of said multilayers 34 from the bottom in the order of an insulating layer 35, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and an insulating layer 36.

[0150] And it applies on said antiferromagnetism layer 23 from on said insulating layer 36, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0151] The built-up sequence of the multilayers 34 of the operation gestalt shown in drawing 2 is the built-up sequence of the multilayers 28 of the operation gestalt shown in drawing 1 with reverse.

[0152] Also in this operation gestalt, said current-limiting layer 27 is the structure in which the insulating section and a current carrying part were intermingled.

[0153] That is, said insulating section of said current-limiting layer 27 is the film configuration where the conductive material film 58 which is the insulating material film 57 with which two or more holes which lead even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer 27 at least were formed, and serves as said current carrying part in this hole 56 was embedded (refer to drawing 9). Or it is the film configuration where the conductive material film 58 which said insulating section of said current-limiting layer 27 has the slot 68 which extends succeeding the time of seeing from a plane parallel to a film surface, and this slot 68 is formed even through the upper surface from

the inferior surface of tongue of said current-limiting layer, and serves as said current carrying part in this slot 68 was embedded (refer to drawing 10).

[0154] Or said current carrying part of said current-limiting layer 27 is a conductive particle, and said electric conduction particle is a film configuration currently distributed in the insulating material layer used as said insulating section.

[0155] Or said insulating section of said current-limiting layer 27 is an insulating particle, and said insulating particle is a film configuration currently distributed in the conductive material film used as said current carrying part.

[0156] Moreover, insulating layers 35 and 36 are formed in the upper and lower sides of the hard bias layer 31 formed in the both-sides field in the truck cross direction (the direction of illustration X) of said multilayers 34 also with this operation gestalt. Since it prevents the flowing sense current carrying out splitting of between said 1st electrode layer 20 and the 2nd electrode layer 33 to said both-sides field and sense current mainly comes to flow to said multilayers 34, it is possible to aim at improvement in a playback output.

[0157] In addition, with the operation gestalt shown in this drawing 2, said sense current flows towards the 2nd electrode layer 33 from the 1st electrode layer 20 (or reverse is sufficient), therefore said current-limiting layer 27 is directly formed in the attainment side side of said sense current of said free magnetic layer 26.

[0158] Next, drawing 3 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element of the 3rd operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium. In addition, the layer to which the same sign as drawing 1 is attached shows the same layer as drawing 1. Moreover, sense current flows towards the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 (or reverse is sufficient).

[0159] The film configuration of the multilayers 28 formed between said 1st electrode layer 20 and the 2nd electrode layer 33 with this operation gestalt is the same as drawing 1.

[0160] With this operation gestalt, it applies to the both-sides end faces 28a and 28a of the truck cross direction (the direction of illustration X) of said multilayers 28 from on said 1st electrode layer 20, and the specular films (it is also called a specular reflection layer) 37 and 37 are formed.

[0161] Said specular film 37 Fe-O, NiO and CoO, CoFeO, CoFeNiO, aluminum-O, and aluminum-Q-O (here -- Q -- B, Si, and N --) One or more sorts chosen from Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel, R-O (it Hf(s) here -- R -- Cu, Ti, V, Cr, Zr, Nb, and Mo --) oxides chosen from Ta and W, such as one or more etc. sorts, aluminum-N, and aluminum-Q-N (here -- Q -- B --) One or more sorts chosen from Si, O, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel, It can form with semimetal whistler metals, such as nitrides, such as R-N (one or more sorts as which R is chosen from Cu, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, and W here), NiMnSb, and PtMnSb, etc.

[0162] On said specular film 37, laminating formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32 is carried out. And it applies on the current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0163] With this operation gestalt, it can control that can carry out specular reflection of the conduction electron by said specular film 37 even if an optical element area (TwxMRh) of said multilayers 28 becomes small, and said conduction electron is scattered about by said both-sides end-face 28a by the specular film 37 having been formed in both-sides end-face 28a of said multilayers 28. For this reason, the mean free path (spin diffusion length) of said conduction electron can be developed, and it is possible to aim at improvement in resistance rate of change further.

[0164] Drawing 4 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element of the 4th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium. In addition, the layer to which the same sign as drawing 1 is attached shows the same layer as drawing 1. Moreover, sense current flows towards the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 (or reverse is sufficient).

[0165] With the operation gestalt shown in drawing 4, the hard bias layer 39 is formed through the middle class 38 on said free magnetic layer 26. And said current-limiting layer 27 is formed on said hard

bias layer 39.

[0166] With this operation gestalt, a vertical bias magnetic field is supplied towards said free magnetic layer 26 from the both-sides edge of the hard bias layer 39 formed through the middle class 38 on said free magnetic layer 26 (an arrow head shows), and magnetization of said free magnetic layer 26 is turned in the direction of illustration X.

[0167] As for said interlayer 38, being formed with a nonmagnetic electrical conducting material is desirable. Specifically, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. Moreover, said interlayer 38 can also serve as the current-limiting layer in this invention. The operation gestalt is drawing 5.

[0168] With the operation gestalt shown in drawing 5, the current-limiting layer 27 is formed on said free magnetic layer 26. Since it is the same as what was explained by drawing 1 about a film configuration, the quality of the material, etc. of said current-limiting layer 27, please refer to there.

[0169] And the hard bias layer 39 is formed on said current-limiting layer 27. With this operation gestalt, since it is not necessary to form an interlayer 38 and the current-limiting layer 27 separately like drawing 4, a manufacturing process can be made easy.

[0170] However, in drawing 5, the current-limiting layer 27 may be formed between said hard bias layer 39 and the 2nd electrode layer 33.

[0171] Moreover, in drawing 4, although said interlayer 38 may be formed by insulating materials, such as aluminum 2O3 and SiO2, in this case, he needs to form said interlayer 38 thinly and for the sense current which flows between said 1st electrode layer 20 and the 2nd electrode layer 33 to be made not to be intercepted in said interlayer's 38 portion. As for said interlayer's 38 thickness, being formed by 20-100A is desirable.

[0172] Moreover, like this operation gestalt, said current-limiting layer 27 may be formed through other layers, even if not directly prepared in the attainment side side (upper surface side) of the sense current of said free magnetic layer 26.

[0173] In addition, said current-limiting layer 27 may be formed among said free magnetic layers 26 and interlayers 38, and may be directly formed in the attainment side side of the sense current of said free magnetic layer 26.

[0174] Moreover, like the operation gestalt shown in drawing 2, when the free magnetic layer 26 is formed below said antiferromagnetism layer 23, laminating formation is carried out on said 1st electrode layer 20 at the order of the current-limiting layer 27, the hard bias layer 39, an interlayer 38, and the free magnetic layer 26.

[0175] Or laminating formation is carried out on the 1st electrode layer 20 at the order of the hard bias layer 39, the current-limiting layer 27, and the free magnetic layer 26. In addition, in this case, sense current flows towards the 2nd electrode layer 33 from the 1st electrode layer 20, and the inferior-surface-of-tongue side of said free magnetic layer 26 is on the attainment side side of the conduction electron of sense current. In addition, the conduction electron of said sense current may flow towards the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33.

[0176] Like drawing 4 in case of the structure of forming the hard bias layer 39 in the free magnetic layer 26 through the middle class 38 Or in case of the structure of forming the hard bias layer 39 in said free magnetic layer 26 through the current-limiting layer 27 like drawing 5 It is possible for said free magnetic layer 26 not to be magnetized firmly, to be able to rationalize magnetic-domain control of said free magnetic layer 26 compared with the case where a hard bias layer is prepared in the both sides of said free magnetic layer 26, and to make good magnetization fluctuation to the external magnetic field of said free magnetic layer 26.

[0177] moreover, only the insulating layer 40 is formed in the both-sides field of the truck cross direction (the direction of illustration X) of multilayers 41 from said substrate layer 21 to said current-limiting layer 27 ( drawing 5 -- up to the hard bias layer 39) with the operation gestalt shown in drawing 4 and drawing 5.

[0178] Therefore, only the inside of multilayers 41 is flowed effectively and the sense current which flows between the 1st electrode layer 20 and the 2nd electrode layer 33 with the operation gestalt shown

in drawing 4 and drawing 5 can reduce the splitting loss of said sense current.

[0179] Drawing 6 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element of the 6th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium.

[0180] With the operation gestalt shown in drawing 6, said free magnetic layer 26 has artificial ferry structure of three layers.

[0181] The layer of the signs 65 and 67 which constitute said free magnetic layer 26 is a magnetic layer, for example, is formed by Co, CoFe, NiFe, CoFeNi, etc. Said magnetic layer 65 and the interlayer 66 formed by Ru etc. among 67 intervene, and this configuration changes mutually the magnetization direction of said magnetic layer 65 and said magnetic layer 67 into an anti-parallel condition by the RKKY interaction. This is called the so-called artificial ferry condition.

[0182] The thickness of said magnetic layers 65 and 67 is formed by about 10-70Å, respectively. Moreover, an interlayer's 66 thickness is formed by 3Å - about 10Å.

[0183] In addition, as, as for said magnetic layers 65 and 67, the magnetic moments per unit area differ, respectively, the quality of the material and thickness of said magnetic layers 65 and 67 differ from each other, respectively. When said magnetic moment is set up by the saturation magnetization  $M_s$  thickness  $t$ , for example, said magnetic layers 65 and 67 are both formed with the material of the same presentation by the same quality of the material, the magnetic moment of said magnetic layers 65 and 67 can be changed by changing the thickness of said magnetic layers 65 and 67. It is possible to make said magnetic layers 65 and 67 into artificial ferry structure appropriately by this.

[0184] By making said free magnetic layer 26 into artificial ferry structure like drawing 6, -izing of said free magnetic layer 26 can be carried out [ single domain ] appropriately, there are few Barkhausen noises, and it is possible to manufacture a magnetic sensing element with a high playback output. In addition, the layer which participates in a magneto-resistive effect among the magnetic layers 65 and 67 of said free magnetic layer 26 is the magnetic layer 65 which touches the nonmagnetic interlayer 25.

[0185] Although the insulating layer 29 is formed in the both sides of the truck cross direction (the direction of illustration X) of the multilayers 42 from said substrate layer 21 to said current-limiting layer 27 as shown in drawing 6, the upper surface of said insulating layer 29 may be formed to a location comparable as the upper surface of the interlayer 66 of said free magnetic layer 26. That is, while constitutes said free magnetic layer 26, and the hard bias layer 31 formed through the bias substrate layer 30 on said insulating layer 29 may be joined only to the both sides of a magnetic layer 67.

[0186] If the carrier beam aforementioned magnetic layer 67 is magnetized in the direction of illustration X in the vertical bias magnetic field from said hard bias layer 31, a magnetic layer 65 will be magnetized by the magnetization direction of said magnetic layer 67, and anti-parallel by the RKKY interaction between said magnetic layers 67.

[0187] In addition, the free magnetic layer 26 of the three-layer ferry structure shown in drawing 6 is applicable to drawing 2 thru/or each operation gestalt of drawing 5.

[0188] Moreover, each of structures which form the hard bias layer 39 in the field which touches the nonmagnetic middle class 25 of the free magnetic layer 26, and the field of the opposite side through the middle class 38, and structures which forms the hard bias layer 39 in the field which touches the nonmagnetic middle class 25 of the free magnetic layer 26 like drawing 5, and the field of the opposite side through the current-limiting layer 27 is applicable to the operation gestalt of drawing 6 like drawing 3 like the structure which forms the specular film 37 in the both sides of multilayers, and

[0189] Drawing 7 is the fragmentary sectional view which looked at the structure of the magnetic sensing element of the 7th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium.

[0190] The magnetic sensing element shown in drawing 7 is the so-called dual type of spin bulb mold thin film. In addition, the layer to which the same sign as drawing 1 was attached shows the same layer as drawing 1.

[0191] The substrate layer 21, the seed layer 22, the fixed magnetic layer 24 of the 23 or 3 layer ferry

structure of antiferromagnetism layers, the nonmagnetic interlayer 25, and the free magnetic layer 26 are formed in the central upper surface of the 1st electrode layer 20 from the bottom. The laminated structure so far is the same as drawing 1.

[0192] Furthermore with this operation gestalt, the laminating of the fixed magnetic layer 63, the antiferromagnetism layer 64, and the current-limiting layer 27 of the three-layer ferry structure which consists of interlayers 61, such as Ru which the Co film 54 was formed in the upper surface of said free magnetic layer 26, and was formed the nonmagnetic interlayer 59, magnetic layers 60 and 62, and between them on it, is carried out one by one.

[0193] In the case of the dual spin bulb mold thin film of the structure shown in drawing 7, when fixed in the height direction (the direction of illustration Y), the magnetic layer 60 which participates in a magneto-resistive effect among the fixed magnetic layers 63 formed above said free magnetic layer 26 is also fixed in the height direction (the direction of illustration Y) for the magnetic layer 53 which participates in a magneto-resistive effect among the fixed magnetic layers 24 formed below the free magnetic layer 26.

[0194] Moreover, with this operation gestalt, said free magnetic layer 26 may be the ferry structure of three layers shown in drawing 6, and when the magnetic layer 53 of the fixed magnetic layer 24 which contributes to a magneto-resistive effect below the free magnetic layer 26 is magnetized in the direction of illustration Y in this case, the magnetic layer 60 of the fixed magnetic layer 63 which contributes to a magneto-resistive effect above the free magnetic layer 26 is magnetized by hard flow with the direction of illustration Y.

[0195] As shown in drawing 7, in the both-sides field in the truck cross direction (the direction of illustration X) of the multilayers 43 from said substrate layer 21 to the current-limiting layer 27, laminating formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32 is carried out one by one.

[0196] Also with this operation gestalt, the gestalt using the specular film 37 can be used like drawing 3.

[0197] Moreover, with this operation gestalt, sense current flows towards the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 (or reverse is sufficient), and the upper surface side of said free magnetic layer 26 has become the attainment side side of said sense current. And although said current-limiting layer 27 is formed in the upper surface of the antiferromagnetism layer 64 formed above the free magnetic layer 26, said current-limiting layer 27 may be formed between the free magnetic layer 26 and the nonmagnetic interlayer 59, and said current-limiting layer 27 may be directly formed in the attainment side (upper surface) of the sense current of said free magnetic layer 26.

[0198] By forming the current-limiting layer 27 in which the insulating section and a current carrying part were intermingled on the free magnetic layer 26 like drawing 1 also in the operation gestalt shown in drawing 2 thru/or drawing 7 above, the following effects are expectable.

[0199] Namely, like this invention, by the magnetic sensing element of a CPP mold, although the sense current (sense current on which it flows towards the 2nd electrode layer 33 from the 1st electrode layer 20 in the case of drawing 2) which flows towards the 1st electrode layer 20 from the 2nd electrode layer 33 flows to a film surface and a perpendicular direction, the inside of said current-limiting layer 27 In this invention, since it is considering as the structure which embedded the conductive material film (current carrying part) 58 in the hole 56 formed in the insulating material film (insulating section) 57 in said current-limiting layer 27, said sense current will flow only in said conductive material film 58.

[0200] For this reason, the sense current which flows in the free magnetic layer 26 through said current-limiting layer 27 from the 2nd electrode layer 33 flows locally the inside of said free magnetic layer 26 only into said conductive material film 58 and the portion which counters (the current density of this portion will become high locally).

[0201] Therefore, according to this invention, even if it forms greatly the element area (this element area is called optical element area) of the free magnetic layer 26 in a direction parallel to a film surface to the same extent with the former, sense current actually flows in said free magnetic layer 26. Element area (this element area is called effectual element area) which participates in a magneto-resistive effect can



be made small. Therefore, even if optical element size forms said magnetic large sensing element using the photolithography technology of having a precision comparable as the former, the magnetic sensing element of a CPP mold with a high playback output can be formed easily.

[0202] Moreover, in this invention, since an optical element area is comparable as the former, it can detect the external magnetic field from a record medium by said magnetic sensing element effectively, and can manufacture the magnetic sensing element of the CPP mold excellent in highly sensitive reproducing characteristics.

[0203] In addition, although said current-limiting layer 27 is formed in the attainment side side of the sense current of the free magnetic layer 26 also in which operation gestalt shown in drawing 1 thru/or drawing 7, said current-limiting layer 27 may be directly formed in the attainment side [ of the sense current of said free magnetic layer 26 ], and reverse side side through other layers. However, the direction which forms said current-limiting layer 27 in a near side by T2 (refer to drawing 1) which is the portion which generates a magneto-resistive effect substantially can narrow down the current path of sense current more appropriately, therefore attains narrow-ization of an effectual element area, and can manufacture a CPP mold MAG sensing element with a high playback output.

[0204] In addition, said current-limiting layer 27 may be directly formed in both upper and lower sides of said free magnetic layer 26 through other layers.

[0205] Drawing 8 is the fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 8th operation gestalt of this invention from the opposed face side with a record medium.

[0206] Drawing 8 has film composition more desirable than drawing 1 thru/or the magnetic sensing element of drawing 7. In drawing 8, the substrate layer 70 which consists of a noble-metals element is formed on said free magnetic layer 26, and the current-limiting layer 27 is formed on this substrate layer 70. On said current-limiting layer 27, the protective layer 71 which consists of a noble-metals element is formed.

[0207] As drawing 27 explained, it is important that the contrast of the conductivity of opening (hole) and non-opening (insulating material film) which were formed in said current-limiting layer 27 in this invention is high. Otherwise, it is because the sense current which flows from an electrode layer extracts, and is not appropriately put by opening and improvement in  $\Delta R \cdot A$  on appearance (resistance variation \* element area) cannot be aimed at.

[0208] That is, in case the insulating material film which constitutes said current-limiting layer 27 is formed, this insulating material film condenses like the shape for example, of an island, and needs to be made to be formed. One element important for performing such control although the above-mentioned opening needs to be intermingled in homogeneity at random in detailed size is already the quality of the material and the spatter conditions of drawing 1 of by the way having explained, and is the surface energy (gammas) of the substrate in which another is formed in the bottom of said current-limiting layer 27.

[0209] When the surface energy of said substrate is high, the growth mode of a thin film is [ monolayer-growth(FM-mode) -/become ] easy to make it easy to become perfect \*\*\*\* mode. the Magnetics Society of Japan -- "thin film growth process introduction" Vol.14 and No. -- if the relational expression of " $\gamma_{\text{sub}} > \gamma_{\text{film}} + \gamma_{\text{int}}$ " ( $\gamma_{\text{sub}}$  is the surface energy of a substrate and a thin film, and  $\gamma_{\text{film}}$  is the surface energy of a thin film here) is realized in the 528th page of 3 and 1990, it becomes perfect \*\*\*\* mode and carrying out monolayer growth is indicated.

[0210] For this reason, in order to be dotted with the thin film which makes monolayer growth hard to carry out, namely, is formed on a substrate like the shape of an island and to form it, it is required to reduce said substrate energy (gammas).

[0211] In this invention, it decided to cover the bottom of said current-limiting layer 27 with the substrate layer 70 which surface energy becomes from a low noble-metals element in view of this point. The surface energy of said substrate layer 70 needs to be lower than the surface energy of the magnetic sensing element surface formed in the bottom of it.

[0212] If said current-limiting layer 27 is formed on said substrate layer 70, on said substrate layer 70, the insulating material film (or layer which should serve as an insulating material film) which constitutes



said current-limiting layer 27 is condensed like the shape of an island, and grows. This growth mode is called Volmer-Weber(VW) mold growth.

[0213] Moreover, in case a metal membrane is made to condense in the shape of an island, this metal membrane is oxidized and the insulating material film of an oxide is formed for example, on said substrate layer 70 by covering with the substrate layer 70 which consists of a noble-metals element, the effect of oxidation is stopped in the portion of said substrate layer 70, and the effect of said oxidation does not attain to the layer below it.

[0214] For this reason, it is possible for the insulating material film which constitutes said current-limiting layer 27 to be kept suitable with an island-like configuration, and to keep the contrast of opening and non-opening high.

[0215] Moreover, although the protective layer 71 which consists of a noble-metals element is formed on said current-limiting layer 27, by forming said protective layer 71, after forming said current-limiting layer 27, even if it performs said heat treatment, in the phase to heat-treat, diffusion of oxygen does not take place to the layer on said current-limiting layer 27, but the contrast of opening of said current-limiting layer 27 and non-opening can be kept high.

[0216] Thus, according to the operation gestalt shown in drawing 8, it becomes possible to manufacture the magnetic sensing element which could keep high the contrast of opening of said current-limiting layer 27, and non-opening, could therefore raise  $\Delta R^*A$ , and was excellent in reproducing characteristics with a high playback output sandwiching the upper and lower sides of said current-limiting layer 27 in the layer which consists of a noble-metals element.

[0217] In addition, the substrate layer 70 or protective layer 71 of said current-limiting layer 27 formed up and down may be formed only in either.

[0218] Moreover, with the operation gestalt shown in drawing 8, it is also possible to operate the protective layer 71 which consists of a noble-metals element formed on said current-limiting layer 27 as 2nd electrode layer 33, and when starting, it is not necessary to form the 2nd electrode layer 33 shown in drawing 8.

[0219] In addition, as for said substrate layer 70 and/or protective layer 71, in this invention, it is desirable to be formed among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials. Or the substrate layer 70 and/or the protective layer 71 may be formed by Cu.

[0220] Moreover, existence of said substrate layer 70 and a protective layer 71 can be seen with a transmission electron microscope (TEM).

[0221] Next, it explains below, referring to the manufacturing process shown in drawing 11 thru/or drawing 22 about the manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 1. In addition, drawing 11 and drawing 22 are the fragmentary sectional views which looked at the magnetic sensing element under manufacture from the opposed face with a record medium, and drawing 12 thru/or drawing 21 are the partial mimetic diagrams showing the condition on said upper surface of a free magnetic layer at the time of forming a current-limiting layer on a free magnetic layer etc.

[0222] The magnetic layers 51 and 53 formed by the antiferromagnetism layer 23 formed by the seed layer 22 formed at the production process shown in drawing 11 by the substrate layer 21 formed by Ta etc. on the 1st electrode layer 20, NiFeCr, etc., PtMn, etc., Co, etc., The free magnetic layer 26 formed by the magnetic layers 55, such as the nonmagnetic interlayer 25 and the Co film 54 which were formed by said magnetic layer 51, the fixed magnetic layer 24 of the three-layer ferry structure where the interlayers 52, such as Ru, were formed among 53, Cu, etc., and NiFe, and the current-limiting layer 27 in which the insulating section and a current carrying part were intermingled A laminating is carried out one by one.

[0223] The manufacture method of said current-limiting layer 27 is explained here, referring to drawing 12 thru/or drawing 14.

[0224] In order to form said current-limiting layer 27, spatter membrane formation of the nitrides, such as oxide films, such as aluminum  $2O_3$  and  $SiO_2$ , and AlN, is first carried out on said free magnetic layer 26. It is desirable to use the insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of oxides as said oxide film among aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co by

this invention.

[0225] Moreover, it is desirable to use as a nitride the insulating material which consists of any one sort or two sorts or more of nitrides among aluminum, Si, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, nickel, and Co.

[0226] These oxide films and a nitride are the insulating materials which it can be made easy to be hard to become a continuation body membrane on said free magnetic layer 26 depending on membrane formation conditions, namely, to become a discontinuum film. As it indicates drawing 12 that it is easy to become a discontinuum film, it is easy to condense the particle of an insulating material by said free magnetic layer 26, and means that it is easy to form a nucleus.

[0227] Moreover, in order to raise coherent more, it is important to adjust appropriately the spatter conditions at the time of spatter membrane formation of said insulating material.

[0228] Substrate temperature is first made into about 20-200 degrees C at low temperature. Moreover, the distance between targets is separated from a substrate to about 200-300mm. Moreover, gas pressure of Ar gas is made high to 10 - 50mTorr (1.3-6.7Pa) degree.

[0229] The atom of said insulating material is said free magnetic layer 26 as they are the above-mentioned spatter conditions, and surface migration becomes inadequate, and it condenses and becomes easy to form a nucleus.

[0230] The condition that said nucleus grew is shown in drawing 13, and two or more holes which lead even to an inferior surface of tongue from the upper surface of said insulating material film are formed in the insulating material film formed on said free magnetic layer 26 in this way. In addition, the slot which extends succeeding the time of seeing from a plane parallel to a film surface as shown in said insulating material film at drawing 10 may be formed.

[0231] Next, at the production process shown in drawing 14, it applies in the aforementioned hole from on said insulating material film, and spatter membrane formation of the conductive material is carried out. thereby -- the hole from said insulating material film -- an electrical conducting material layer is formed inside and it will be buried by said hole by said electrical conducting material layer.

[0232] In addition, although alpha-Ta, Au, Cr and Cu (copper), W (tungsten), etc. can be used for said conductive material, it is more desirable to use any one sort or two sorts or more of noble-metals materials among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re. Or Cu may be used. In itself, if a noble-metals material is used, since said noble-metals material is the quality of the material which cannot oxidize easily, by heat treatment etc., it can be made to function also as a protective layer it is made for diffusion of oxygen not to produce, and it can keep high the contrast of opening (hole) of said current-limiting layer, and non-opening (insulator layer).

[0233] In addition, on the spatter conditions of said conductive material, substrate temperature is made into about 20-100 degrees C, for example. Moreover, distance between a substrate and a target is set to about 40-100mm. Moreover, gas pressure of Ar gas is made into 0.5 - 10mTorr (0.07-1.3Pa) degree.

[0234] It is possible to form the current-limiting layer 27 by the above-mentioned manufacture method.

[0235] In this invention, first Or Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and the film that consists of any one sort or two sorts or more of metallic elements among rare earth elements are formed by the spatter. At this time The slot which extends in said metal membrane succeeding the time of seeing from a plane parallel to two or more holes or the film surface which leads even to the upper surface from an inferior surface of tongue stops a spatter in the condition of being left behind appropriately. Next, this metal membrane is oxidized. Natural oxidation, plasma oxidation, radical oxidation, and anodic oxidation can be used for oxidation.

[0236] According to this oxidation production process, said metal membrane oxidizes and turns into an insulating material film. And at the drawing 14 production process, it applies in the aforementioned hole from on said insulating material film, and spatter membrane formation of the conductive material is carried out. thereby -- the hole from said insulating material film -- an electrical conducting material layer is formed inside and it will be buried by said hole by said electrical conducting material layer.

[0237] However, it is easy to be influenced according to the above-mentioned oxidation production process of oxidation to the layer under said current-limiting layer. And it produces the problem of

aggravation of the same contrast as it changed into the condition that the oxide film was formed in the whole direction of a film surface and drawing 26 explained and is not desirable if said free magnetic layer oxidizes according to the above-mentioned oxidation production process, for example.

[0238] Moreover, when the condensed nucleation which is shown in drawing 12 has the high surface energy of the layer ( drawing 12 free magnetic layer) currently formed in the bottom of it, it monolayer-growth(FM-mode )-becomes easy to make it easy to become perfect \*\*\*\* mode. For this reason, it is desirable to cover with the substrate layer of the quality of the material in which surface energy cannot oxidize easily low, before forming said current-limiting layer 27.

[0239] The production process shown in drawing 15 thru/or drawing 17 showed the manufacture method. Spatter formation of the substrate layer which consists of a noble-metals element on a free magnetic layer first as shown in drawing 15 is carried out.

[0240] It is desirable to form said substrate layer among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials at this time. Or a substrate layer may be formed by Cu. The substrate layer formed by said noble-metals element is the quality of the material in which surface energy is lower than the energy of the free magnetic layer surface, and cannot oxidize easily.

[0241] Next, as shown in drawing 15 , any one sort or two sorts or more of metallic elements are formed by the spatter among Ag, Cu, Zn, germanium, Pb, aluminum, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, V, Nb, Mo, W, Fe, Co, Si, nickel, and rare earth elements. It condenses in the shape of an island, and said metallic element is formed, as it condenses on the substrate layer surface which consists of a noble-metals element, it is easy to form a nucleus and it is shown in drawing 16 , and two or more holes which lead even to the upper surface from an inferior surface of tongue are prepared in said metal membrane.

[0242] Next, said metal membrane is oxidized like drawing 16 . The existing methods, such as natural oxidation, plasma oxidation, radical oxidation, and anodic oxidation, can be used for oxidation. Thereby, said metal membrane is changed to the insulating material film of an oxide. At this time, since the substrate layer which consists of a noble-metals element which cannot oxidize easily is formed in the bottom of said metal membrane, oxidation is stopped in the location of said substrate layer, and oxidation does not attain to the layer below said substrate layer.

[0243] And spatter membrane formation of the electric conduction film which is missing from a hole from on said insulating material film, and consists of a metallic element at the production process shown in drawing 17 is carried out. At this time, it is desirable to use said metallic element as the same noble-metals element as said substrate layer. That is, it is desirable to form the conductive layer shown in drawing 17 among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials. Or a conductive layer may be formed by Cu.

[0244] It is because oxygen will move to the 2nd electrode layer etc. from an insulating material film, distribution of oxygen will fade and the contrast of opening and non-opening will get worse by heat treatment performed after that, if a conductive layer is formed by elements other than said noble-metals element.

[0245] Or in this invention, the target formed by the insulating material and the target formed with the conductive material are prepared, and the spatter of these two targets is carried out. Thereby on said free magnetic layer 26, the current-limiting layer 27 in which the particle of an insulating material and the particle of a conductive material were intermingled can be formed. Although the above-mentioned quality of the material may be used for said insulating material and a conductive material, in this invention, the current-limiting layer 27 of the film configuration with which the conductive particle was distributed by the insulating material film can be formed with the following materials.

[0246] concrete -- this invention -- the upper surface of said free magnetic layer 26 --  $\text{FeaMbOc}$  (however, the element M -- Ti --) It has an empirical formula and the presentation ratios a, b, and c are atomic %s. one sort chosen from Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, or two sorts or more -- an element -- Filling [ and ] with  $40 \leq a \leq 50$ ,  $10 \leq b \leq 30$ , and  $20 \leq c \leq 40$  the relation it is unrelated  $a+b+c=100$ , membrane structure carries out spatter membrane formation of the current-limiting layer 27 which has the film configuration distributed the inside of amorphous where the microcrystal grain which used Fe as the principal component contains a compound with Elements M and O.

[0247] Or to the upper surface of said free magnetic layer 26, it is  $\text{Fe}_d\text{Me}_e\text{N}_f$  (however, Element M). It has the empirical formula which consists of one sort or two sorts or more of elements chosen from Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, and rare earth elements, and the presentation ratios  $d$ ,  $e$ , and  $f$  are atomic %. The relation it is unrelated  $d+e+f=100$  may be filled with  $60 \leq d \leq 70$ ,  $10 \leq e \leq 15$ , and  $19 \leq f \leq 25$ , and membrane structure may carry out spatter membrane formation of the current-limiting layer 27 which has the film configuration distributed the inside of amorphous where the microcrystal grain which used Fe as the principal component contains a compound with Elements M and N.

[0248] In order to form these  $\text{FeMO}(s)$  and a  $\text{FeMN}$  alloy, the target of Fe and the target which consists of MO or MN are prepared, and the current-limiting layer 27 which has the above-mentioned presentation ratio and membrane structure can be formed by carrying out the spatter of these two targets.

[0249] Or by this invention, after carrying out spatter membrane formation of any one sort or two sorts or more of metallic materials for the current-limiting layer 27 with Co among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag, by performing heat treatment, it may oxidize and Co may be formed.

[0250] However, since there is a production process which it heat-treats [ production process ] and promotes oxidation even at the time at the time of formation of the current-limiting layer 27 which consists of mixing with above-mentioned Co and the above-mentioned noble-metals element, and formation of  $\text{FeMO}$  or a  $\text{FeMN}$  alloy, oxidation may attain to even the layer under the current-limiting layer 27 by this heat treatment.

[0251] Therefore, it is desirable to form first the substrate layer which consists of a noble-metals element on the free magnetic layer 27 like after the production process which is shown in drawing 18 also in the case of formation of the current-limiting layer 27 which consists of the current-limiting layer 27 and  $\text{FeMO}$  which consist of mixing with Co and a noble-metals element, or a  $\text{FeMN}$  alloy, and the current-limiting layer 27 which consists of these so-called granular membranes. It is desirable to form said substrate layer among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, and Re with any one sort or two sorts or more of noble-metals materials. Or said substrate layer may be formed by Cu. However, it is more desirable to use noble metals.

[0252] At the production process shown in drawing 18, spatter membrane formation of the current-limiting layer 27 which consists of  $\text{FeMO}$  or a  $\text{FeMN}$  alloy on the substrate layer which consists of said noble-metals element is carried out. It is desirable to form the protective layer which consists of a noble-metals element as well as a substrate layer on said current-limiting layer 27 furthermore. After forming a substrate layer, a current-limiting layer, and a protective layer, if heat treatment is performed, contrast with the portion which is not used as the portion into which the phase separation of GURANYURA of said current-limiting layer has progressed and oxidized will increase. At this time, since the upper and lower sides of said current-limiting layer are inserted into the layer which consists of a noble-metals element, oxidation does not attain to even the layer of the upper and lower sides of said current-limiting layer.

[0253] At the production process shown in drawing 19, spatter membrane formation of the substrate layer which consists of a noble-metals element on a free magnetic layer is carried out, and spatter membrane formation of the material which mixed any one sort or two sorts or more of metallic materials with Co on it among Ru, Pt, Au, Rh, Ir, Pd, Os, Re, Cu, and Ag is carried out. Then, annealing is carried out and phase separation is promoted. At the production process shown in drawing 20, natural oxidation, plasma oxidation, radical oxidation, etc. are given, and it consists of \*\*\*\* material, it mainly concerns, and the portion of Co is oxidized. on the other hand, the noble-metals particle formed by Au etc. oxidizes -- not having -- a conductive particle -- and it is left behind as it is.

[0254] Since the substrate layer which consists of a noble-metals element is prepared in the bottom of said current-limiting layer also in the time of this heat treatment and oxidation, oxidation does not attain to the layer under said current-limiting layer.

[0255] At the production process shown in drawing 21, spatter membrane formation of the protective layer which consists of a noble-metals element on said current-limiting layer is carried out. Thus, with capping by the protective layer which said current-limiting layer top also becomes from a noble-metals

element, even if heat treatment etc. is performed after that, oxygen is not spread even in the layer formed on said current-limiting layer, but the contrast of the portion into which said current-limiting layer oxidized, and the portion which has not oxidized can be kept good.

[0256] In addition, it being able to say to the both sides at the time of the production process shown in drawing 18 and drawing 19 is making thickness of said current-limiting layer smaller than the particle size of the conductive particle contained in it. Otherwise, it is because the current path where it applies to an inferior surface of tongue from the upper surface of said current-limiting layer, and sense current flows cannot be formed appropriately, the current path of sense current cannot be narrowed down good and improvement in a playback output cannot be aimed at.

[0257] Moreover, if the protective layer which consists of a noble-metals element is prepared on said current-limiting layer like the production process shown in drawing 18 or drawing 21, this protective layer itself can also be operated as 2nd electrode layer, in a subsequent production process, formation of said 2nd electrode layer becomes unnecessary, and simplification of a manufacturing process can be attained.

[0258] In addition, although the insulating material film which gives an oxidation production process and consists of an oxide was formed at the production process shown in drawing 15 thru/or drawing 21, you may nitride.

[0259] Next, at the production process shown in drawing 11, the resist layer 44 is formed on said current-limiting layer 27. In addition, said resist layer 44 may be a resist layer for lift off.

[0260] The area of inferior-surface-of-tongue 44a of said resist layer 44 is comparable as an optical element area of a magnetic sensing element, or is small formed a little rather than it. In this invention, the width of recording track  $T_w$  decided by the width-of-face size to the truck cross direction (the direction of illustration X) of the upper surface of the free magnetic layer 26 can be made to 0.15-0.3 micrometers, and the length  $MR_h$  to the height direction (the direction of illustration Y) is made to 0.15-0.3 micrometers, therefore 0.02-0.09 micrometers of optical element area can be greatly formed in 2.

[0261] The above-mentioned optical element area is comparable as the former, and manufacture of a magnetic sensing element is attained using the photolithography technology of having a precision equivalent to the former, in this invention.

[0262] Next, as shown in drawing 11, the multilayers 28 from the substrate layer 21 which is not covered with said resist layer 44 to the current-limiting layer 27 are removed by the ion milling from arrow head F etc. (dotted line portion shown in drawing 11). Thereby, the multilayers 28 which consist of the substrate layer 21 to current-limiting layers 27 serve as abbreviation trapezoidal shape, and are left behind in the center of the upper surface of said 1st electrode layer 20. In addition, after said ion milling, since some material removed by milling carries out the reattachment to the both-sides end face of said multilayers 28, it is desirable to remove said reattachment object by side milling.

[0263] Next, at the production process shown in drawing 22, it applies on both-sides end-face 28a of said multilayers 28 from on said 1st electrode layer 20, and spatter membrane formation of the insulating layer 32 formed with the hard bias layer 31, aluminum  $2O_3$ , etc. which were formed by the bias substrate layer 30 formed by the insulating layer 29 formed with aluminum  $2O_3$  etc., Cr, etc., CoPtCr, etc. is carried out.

[0264] In addition, as shown in drawing 22, as for whenever [ sputtered-particles illuminating-angle / in the case of spatter membrane formation of each class from said insulating layer 29 to said insulating layer 32 ], it is desirable to consider as a perpendicular direction G mostly to a substrate.

[0265] Moreover, as shown in drawing 22, laminating formation of insulating-layer 29b, bias furring layer 30a, bias material layer 31a, and the insulating material film 32a is carried out also on said resist layer 44.

[0266] Although said resist layer 44 is removed after carrying out the laminating of each class from an insulating layer 29 to an insulating layer 32 to the both-sides field of said multilayers 28 When covered by insulating-layer 29b which the whole surface of said resist layer 44 described above Scrub washing since said resist layer 44 is appropriately unremovable, After making said resist layer 44 surface the particle of dry ice etc. specifically collide with each class, such as wrap insulating-layer 29b, removing a

part and exposing a part of surface of said resist layer 44, said resist layer 44 is dipped in a solvent. How to melt and remove said resist layer 44 etc. can be considered.

[0267] In addition, since unnecessary weld flash, such as said insulating-layer 29b, may remain in the upper surface of the current-limiting layer 27 from said insulating layer 32 after removing said resist layer 44, it is desirable to carry out scrub washing of said current-limiting layer 27 top from on said insulating layer 32, for example, to remove said weld flash, and to process a beautiful field. In addition, in said scrub washing, how to make the particle of dry ice collide with said weld flash etc. can be considered.

[0268] Then, it applies on said current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32, and spatter membrane formation of the 2nd electrode layer 33 is carried out (refer to drawing 1 ).

[0269] The manufacture method of other magnetic sensing elements is explained briefly. By the magnetic sensing element shown in drawing 2 , after carrying out spatter membrane formation of the current-limiting layer 27, the free magnetic layer 26, the nonmagnetic interlayer 25, the fixed magnetic layer 24, and the antiferromagnetism layer 23 on the 1st electrode layer 20, like the production process shown at drawing 11 , the resist layer 44 is formed in said antiferromagnetism layer 23, and the multilayers 34 which are not further covered with said resist layer 44 are deleted by ion milling. Next, it applies to both-sides end-face 34a of said multilayers 34 from on said 1st electrode layer 20, spatter membrane formation of an insulating layer 35, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 36 is carried out, and said resist layer 44 is removed. And it applies on said antiferromagnetism layer 23 from on said insulating layer 36, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0270] By the magnetic sensing element shown in drawing 3 , after forming the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic interlayer 25, the free magnetic layer 26, and the current-limiting layer 27 on the 1st electrode layer 20, the same resist layer 44 as drawing 11 is formed on said current-limiting layer 27, and said multilayers 28 which are not covered with said resist layer 44 are removed by ion milling. Next, the reattachment object which adhered to both-sides end-face 28a of said multilayers 28 in said ion milling is shaved off by side milling.

[0271] Next, it applies to both-sides end-face 28a of said multilayers 28 from on said 1st electrode layer 20, and spatter membrane formation of the specular film 37 is carried out. In addition, spatter membrane formation of said specular film 37 is performed from across to a substrate. As for whenever [ sputtered-particles illuminating-angle / at the time of said spatter ], leaning is desirable about 20-70 degrees from the perpendicular direction to the substrate surface.

[0272] Next, on said specular film 37, after carrying out spatter membrane formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32, said resist layer 44 is removed, it applies on said current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0273] The manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 4 removes said multilayers 41 which are not probably covered with said resist layer 44 on the 1st electrode layer 20 using the resist layer 44 shown in drawing 8 after carrying out continuation spatter membrane formation of the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic middle class 25, the free magnetic layer 26, the middle class 38, the hard bias layer 39, and the current-limiting layer 27 by ion milling. Next, the reattachment object which adhered to both-sides end-face 41a of said multilayers 41 in said ion milling is shaved off by side milling.

[0274] Next, it applies to both-sides end-face 41a of said multilayers 41 from on said 1st electrode layer 20, and spatter membrane formation of the specular film 37 is carried out. In addition, spatter membrane formation of said specular film 37 is performed from across to a substrate. As for the ion irradiation angle at the time of said spatter, leaning is desirable about 20-70 degrees from the perpendicular direction to the substrate surface.

[0275] Next, on said specular film 37, after carrying out spatter membrane formation of the insulating layer 40, said resist layer 44 is removed, it applies on said current-limiting layer 27 from on said insulating layer 40 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0276] The manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 5 removes said multilayers 41 which are not probably covered with said resist layer 44 on the 1st electrode layer 20 using the resist layer 44 shown in drawing 11 after carrying out continuation spatter membrane formation of the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic middle class 25, the free magnetic layer 26, the current-limiting layer 27, and the hard bias layer 39 by ion milling.

[0277] Next, it applies to both-sides end-face 41a of said multilayers 41 from on said 1st electrode layer 20, and spatter membrane formation of the specular film 37 is carried out. And on said specular film 37, after carrying out spatter membrane formation of the insulating layer 40, said resist layer 44 is removed, it applies on the hard bias layer 39 from on said insulating layer 40 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0278] The manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 6 removes said multilayers 42 which are not probably covered with said resist layer 44 on the 1st electrode layer 20 using the resist layer 44 shown in drawing 11 after carrying out continuation spatter membrane formation of the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the free magnetic layer 26 of the 25 or 3 layer ferry structure of nonmagnetic interlayers, and the current-limiting layer 27 by ion milling.

[0279] Next, after applying on both-sides end-face 42a of said multilayers 42 from on said 1st electrode layer 20 and carrying out continuation spatter membrane formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32, said resist layer 44 is removed, it applies on said current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0280] First the manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 7 on the 1st electrode layer 20 After carrying out continuation spatter membrane formation of the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic interlayer 25, the free magnetic layer 26, the nonmagnetic interlayer 59, the fixed magnetic layer 63, the antiferromagnetism layer 64, and the current-limiting layer 27, Said multilayers 43 which are not covered with said resist layer 44 are removed by ion milling using the resist layer 44 shown in drawing 11.

[0281] Next, after applying on the both-sides end face of said multilayers 43 from on said 1st electrode layer 20 and carrying out continuation spatter membrane formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32, said resist layer 44 is removed, it applies on said current-limiting layer 27 from on said insulating layer 32 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0282] First the manufacture method of the magnetic sensing element shown in drawing 8 on the 1st electrode layer 20 After carrying out continuation spatter membrane formation of the substrate layer 21, the seed layer 22, the antiferromagnetism layer 23, the fixed magnetic layer 24, the nonmagnetic interlayer 25, the free magnetic layer 26, the substrate layer 70 that consists of a noble-metals element, the current-limiting layer 27, and the protective layer 71 which consists of a noble-metals element, Said multilayers 41 which are not covered with said resist layer 44 are removed by ion milling using the layer 44 shown in drawing 11. About the formation method of the substrate layer 70, the current-limiting layer 27, and the protective layer 71 that consists of a noble-metals element, since drawing 15 thru/or drawing 21 explained in detail, please refer to there.

[0283] Next, after applying on the both-sides end face of said multilayers 43 from on said 1st electrode layer 20 and carrying out continuation spatter membrane formation of an insulating layer 29, the bias substrate layer 30, the hard bias layer 31, and the insulating layer 32, said resist layer 44 is removed, it applies on said protective layer 71 from on said insulating layer 32 further, and the 2nd electrode layer 33 is formed.

[0284] By the manufacture method of the magnetic sensing element in this invention explained above, the current-limiting layer 27 can be formed easily, narrow-ization of effectual element size can be attained effectively, and the magnetic sensing element which can aim at improvement in a playback



output can be manufactured. Since a nucleus is condensed more and can be especially formed in the bottom of said current-limiting layer 27 by preparing the substrate layer which consists of a noble-metals element, while the contrast of opening of an insulating material film and non-opening can be raised, even if it gives the oxidation production process by heat treatment etc., oxidation is stopped in said substrate layer, and it can prevent that the effect of oxidation attains to even the layer under it. Moreover, when the protective layer which consists of a noble-metals element is prepared also on said current-limiting layer 27, it can prevent that the effect of oxidation attains to even the layer on said current-limiting layer, and is desirable.

[0285] Moreover, since the width of recording track  $T_w$  of said magnetic sensing element and the length  $MR_h$  to the height direction can be made to be the same as usual by the manufacture method of this invention, it is possible to form easily the magnetic sensing element to which effectual element size becomes small using the photolithography technology of having a precision comparable as the former.

[0286] In addition, the magnetic sensing element in this invention is not usable only to the thin film magnetic head carried in a hard disk drive unit, and is usable to the magnetic head for tapes, a magnetometric sensor, etc.

[0287]

[Effect of the Invention] According to this invention explained in full detail above, the current-limiting layer to which the insulating section and a current carrying part were directly intermingled through other layers in the attainment side side of the sense current of a free magnetic layer at least is prepared.

[0288] Therefore, by this invention, although said sense current flows the inside of said current-limiting layer perpendicularly, since said current-limiting layer directly prepared in the attainment side side of said sense current of a free magnetic layer through other layers is considered as the configuration in which the insulating section and a current carrying part are intermingled, said sense current will flow only in said current carrying part.

[0289] For this reason, the sense current which flows in a free magnetic layer through said current-limiting layer from an electrode layer flows the inside of said free magnetic layer locally only into said current carrying part and the portion which counters (the current density of this portion will become high locally).

[0290] Therefore, according to this invention, even if it forms greatly the element area (this element area is called optical element area) of the free magnetic layer in a direction parallel to a film surface to the same extent with the former, sense current actually flows in said free magnetic layer. Element area (this element area is called effectual element area) which participates in a magneto-resistive effect can be made small. Therefore, even if optical element size forms said magnetic large sensing element using the photolithography technology of having a precision comparable as the former, the magnetic sensing element of a CPP mold with a high playback output can be formed easily.

[0291] Moreover, since element size can be greatly formed to the same extent with the former, it is possible to detect the external magnetic field from a record medium by said magnetic sensing element effectively, and it is possible to aim at improvement in a playback output and improvement in the stability of a playback wave.

[0292] Moreover, in this invention, since a nucleus is condensed more and can be formed in the bottom of said current-limiting layer by preparing the substrate layer which consists of a noble-metals element, while the contrast of opening of an insulating material film and non-opening can be raised, even if it gives production processes, such as heat treatment, oxidation is stopped in said substrate layer, and it can prevent that the effect of oxidation attains to even the layer under it. Moreover, when the protective layer which consists of a noble-metals element is prepared also on said current-limiting layer, it can prevent that the effect of oxidation attains to even the layer on said current-limiting layer, and is desirable.

[0293] Thus, since the contrast of opening of a current-limiting layer and non-opening can be raised, it becomes possible to be able to narrow down the current path of sense current and to manufacture a magnetic sensing element with a big playback output effectively by said current-limiting layer, appropriately.



---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

### [Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 1st operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 2] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 2nd operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 3] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 3rd operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 4] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 4th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 5] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 5th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 6] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 6th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 7] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 7th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 8] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element of the 8th operation gestalt in this invention from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 9] The partial mimetic diagram showing the film configuration of the multilayers in this invention, and a current-limiting layer,
- [Drawing 10] The partial mimetic diagram showing the film configuration of another multilayers in this invention, and a current-limiting layer,
- [Drawing 11] 1 process drawing showing the manufacture method of the thin film magnetic head shown in drawing 1 ,
- [Drawing 12] The mimetic diagram showing the condition on said upper surface of a free magnetic layer at the time of forming an electrode limit layer in a free magnetic layer,
- [Drawing 13] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 12 ,
- [Drawing 14] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 13 ,
- [Drawing 15] The mimetic diagram showing the condition on said upper surface of a free magnetic layer at the time of forming a substrate layer in a free magnetic layer, and forming an electrode limit layer on said substrate layer,
- [Drawing 16] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 15 ,
- [Drawing 17] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 16 ,
- [Drawing 18] The mimetic diagram showing the condition on said upper surface of a free magnetic layer at the time of forming a substrate layer in a free magnetic layer, forming a current-limiting layer (granular membrane) on said substrate layer, and forming a protective layer on said current-limiting layer further,
- [Drawing 19] The mimetic diagram showing the condition on said upper surface of a free magnetic layer at the time of forming a substrate layer in a free magnetic layer, forming a current-limiting layer

(granular membrane) on said substrate layer, and forming a protective layer on said current-limiting layer further,

[Drawing 20] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 19 ,

[Drawing 21] The partial mimetic diagram showing the next condition of drawing 20 ,

[Drawing 22] 1 process drawing carried out to the degree of the drawing 11 production process,

[Drawing 23] The fragmentary sectional view which looked at the magnetic sensing element in the former from the opposed face side with a record medium,

[Drawing 24] The partial mimetic diagram of a CIP mold MAG sensing element,

[Drawing 25] The partial mimetic diagram of a CPP mold MAG sensing element,

[Drawing 26] The partial mimetic diagram in which the contrast of opening of a current-limiting layer and non-opening shows a bad example,

[Drawing 27] The partial mimetic diagram in which the contrast of opening of a current-limiting layer and non-opening shows a good example,

[Description of Notations]

20 1st Electrode Layer

21 Substrate Layer

22 Seed Layer

23 Antiferromagnetism Layer

24 63 Fixed magnetic layer

25 Nonmagnetic Interlayer

26 Free Magnetic Layer

27 Current-Limiting Layer

28, 34, 41, 42, 43 Multilayers

29, 32, 40 Insulating layer

31 39 Hard bias layer

33 2nd Electrode Layer

37 Specular Film

38 Interlayer

44 Resist Layer

56 Hole

57 Insulating Material Film

58 Conductive Material Film

68 Slot

70 Substrate Layer

71 Protective Layer

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

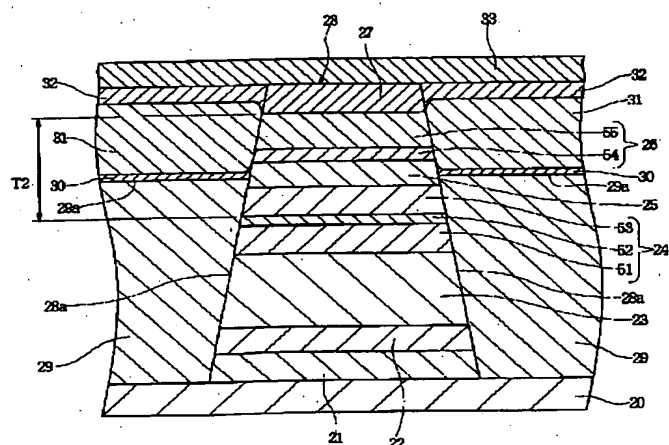
Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

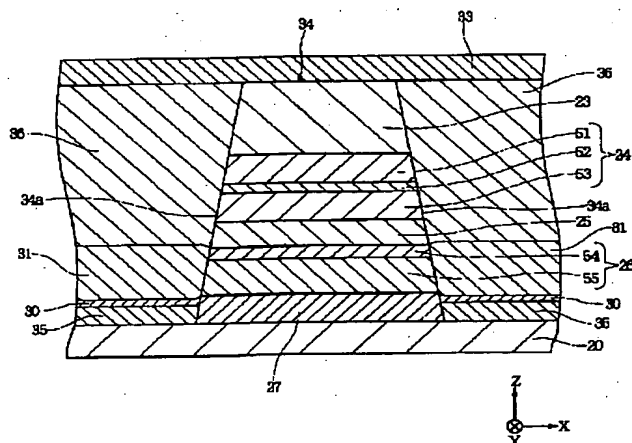
[Drawing 1]

図 1



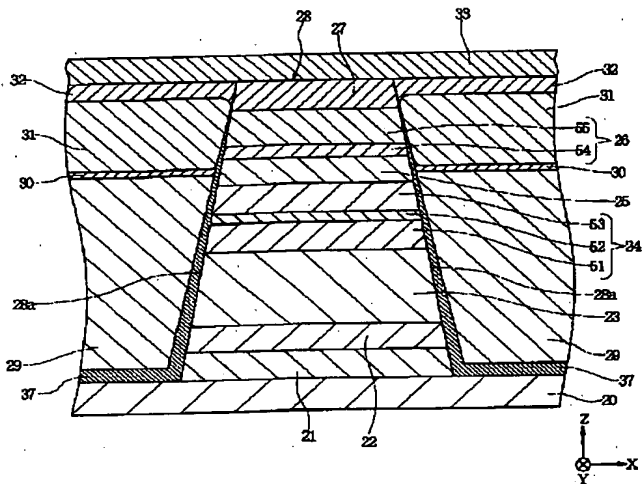
[Drawing 2]

図 2



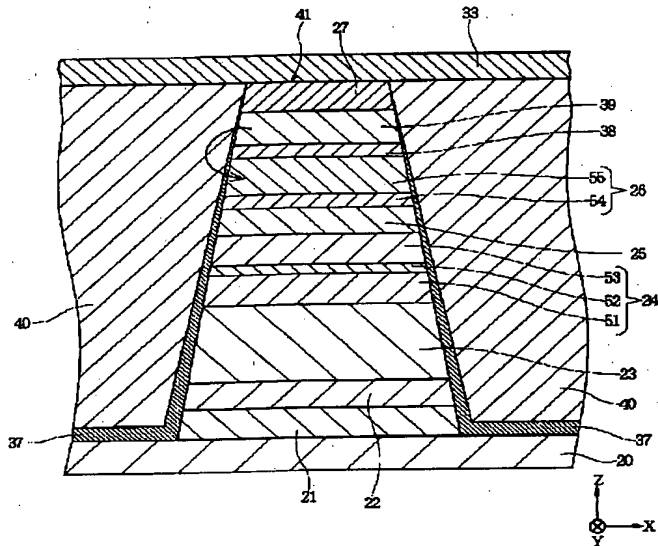
[Drawing 3]

図 3



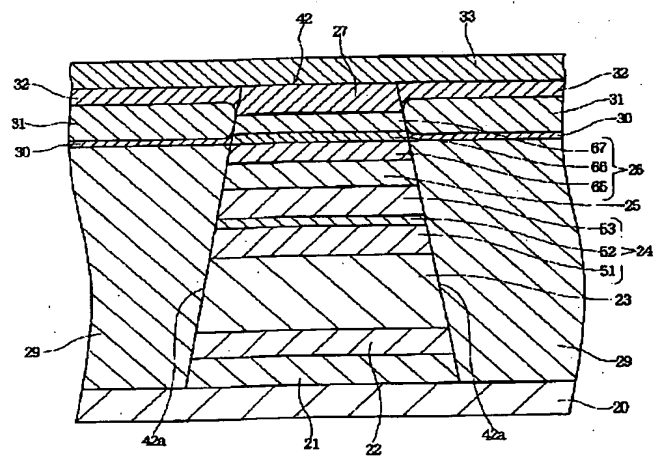
[Drawing 4]

図 4



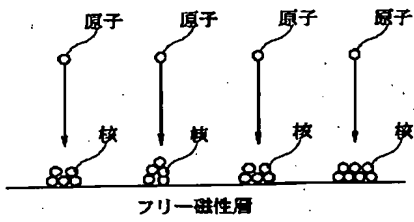
[Drawing 6]

図 6



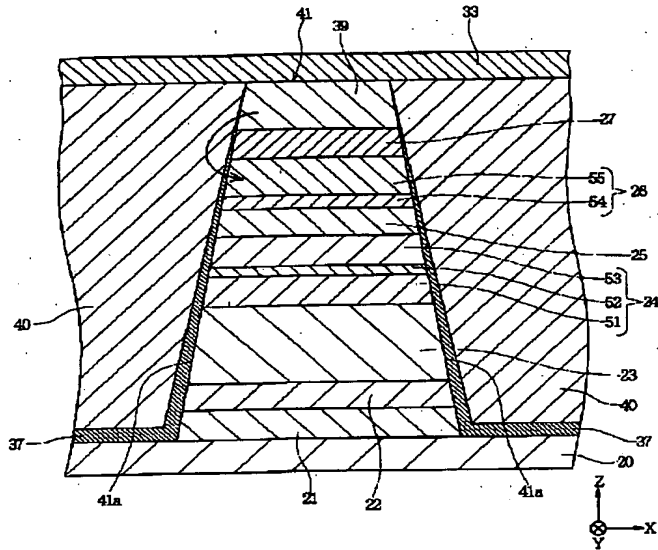
[Drawing 12]

図 12



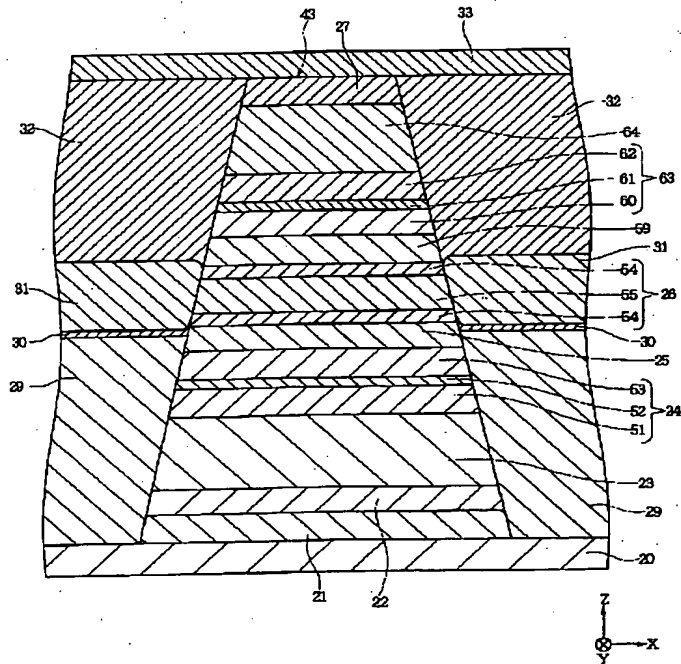
[Drawing 5]

図 5



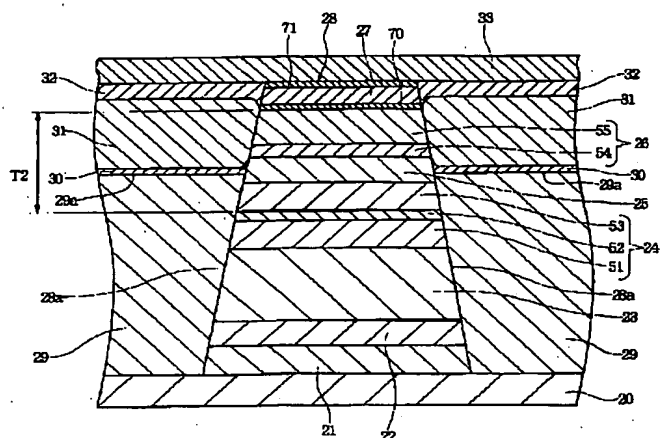
[Drawing 7]

図 7



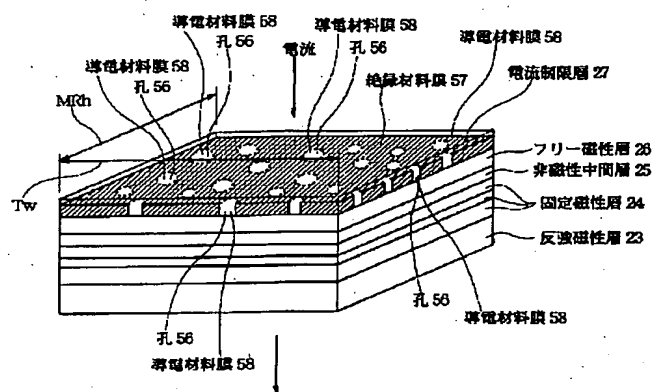
[Drawing 8]

図 8



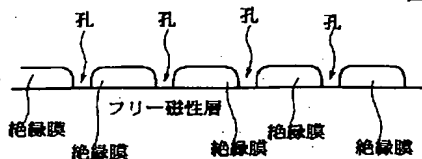
[Drawing 9]

図 9



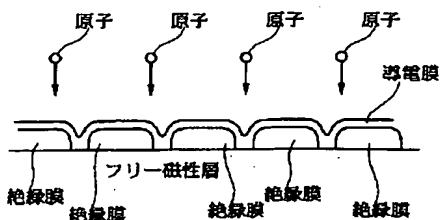
[Drawing 13]

図 13



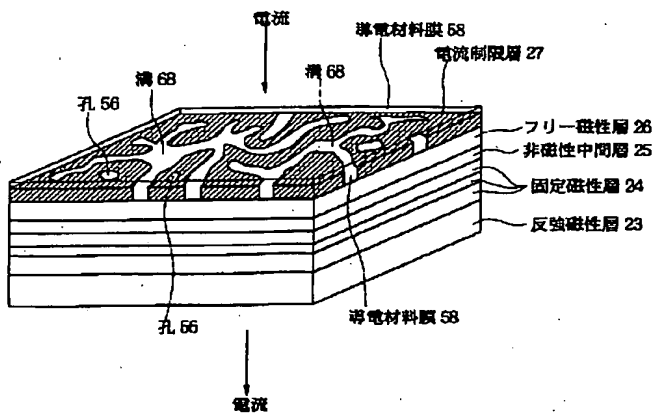
[Drawing 14]

図 14



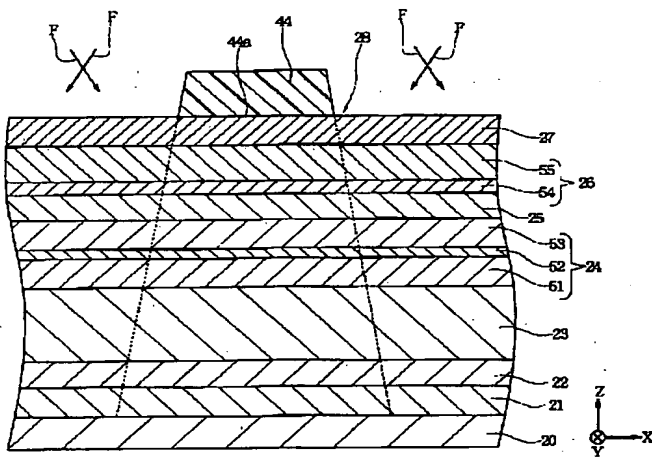
[Drawing 10]

図 10



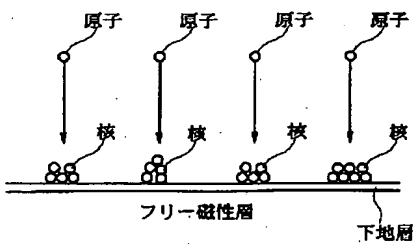
[Drawing 11]

図 11



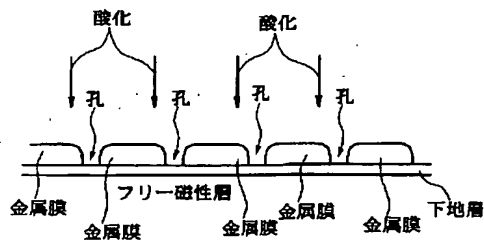
[Drawing 15]

図 15



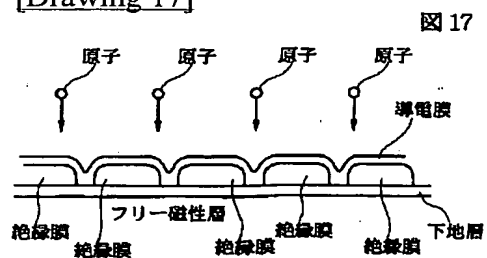
[Drawing 16]

図 16



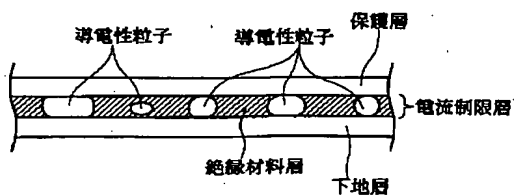


[Drawing 17]



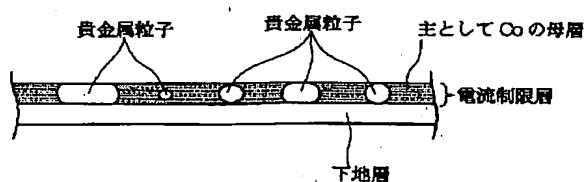
[Drawing 18]

図 18



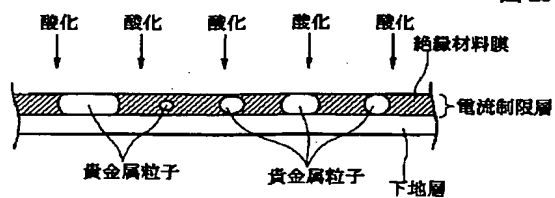
[Drawing 19]

図 19



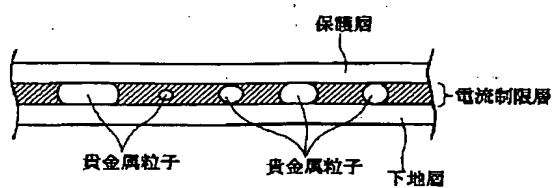
[Drawing 20]

図 20



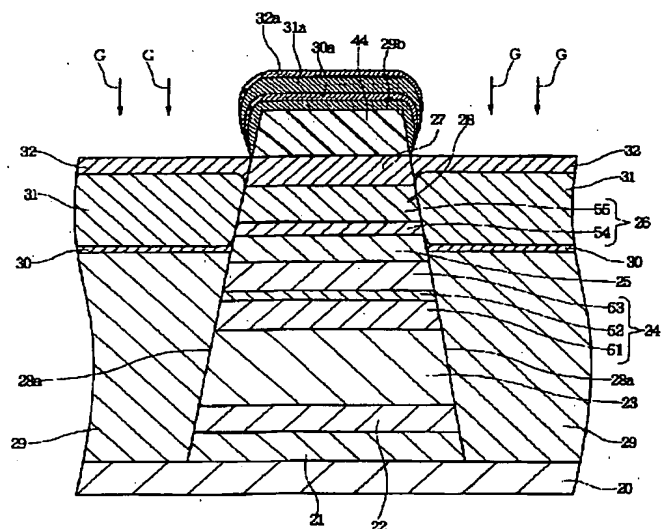
[Drawing 21]

図 21



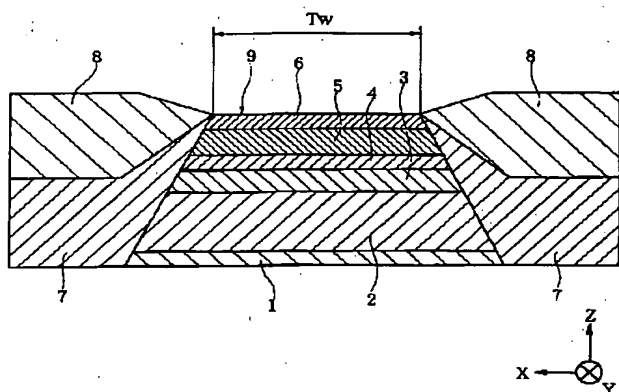
[Drawing 22]

図 22



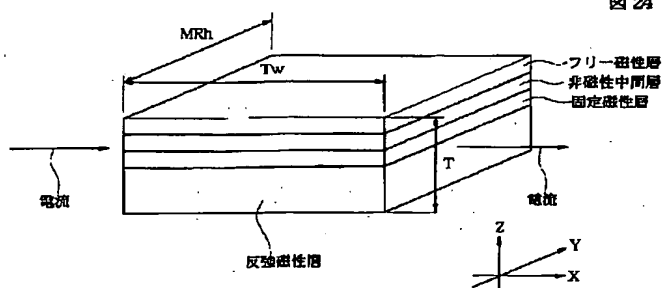
[Drawing 23]

図 23



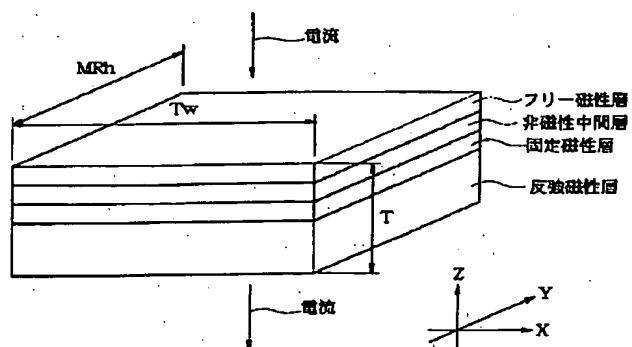
[Drawing 24]

図 24



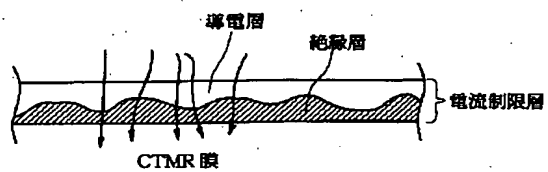
[Drawing 25]

図 25



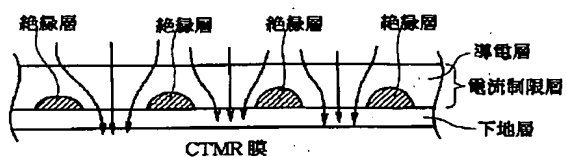
[Drawing 26]

図 26



[Drawing 27]

図 27



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-8108  
(P2003-8108A)

(43) 公開日 平成15年1月10日 (2003.1.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマト* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7 D 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	
G 1 1 B 5/39		H 0 1 L 43/12	
H 0 1 L 43/12		G 0 1 R 33/06	R
審査請求 未請求 請求項の数37 O L (全 26 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-77752 (P2002-77752)  
(22) 出願日 平成14年3月20日 (2002.3.20)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-81825 (P2001-81825)  
(32) 優先日 平成13年3月22日 (2001.3.22)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

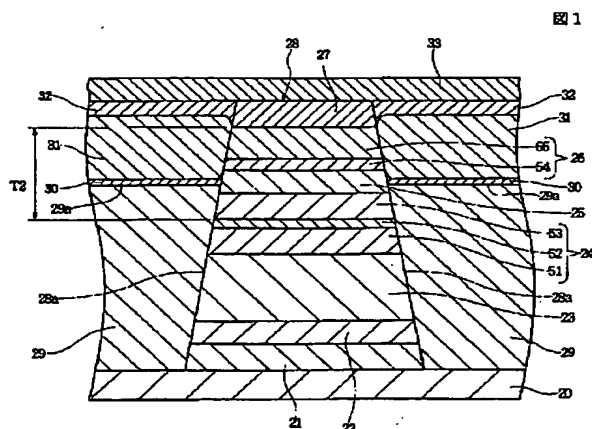
(71) 出願人 000010098  
アルプス電気株式会社  
東京都大田区雪谷大塚町1番7号  
(72) 発明者 長谷川 直也  
東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス  
電気株式会社社内  
(72) 発明者 早川 康男  
東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス  
電気株式会社社内  
(74) 代理人 100085453  
弁理士 野▲崎▼ 照夫 (外1名)  
Fターム(参考) 2G017 AA10 AD55  
5D034 BA03 DA07

(54) 【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来におけるフォトリソグラフィー技術では効果的に再生出力の高いC P P型磁気検出素子を製造することはできなかった。

【解決手段】 フリー磁性層26のセンス電流の到達面側(上面側)に導電部と絶縁部とが混在した電流制限層27を設ける。これにより光学的な素子面積を大きくしても実効的な素子面積を小さくできるので、従来と同等の精度を有するフォトリソグラフィー技術を用いて容易に磁気検出素子を製造できると共に再生出力の高いC P P型磁気検出素子を製造することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層及びフリー磁性層を有する多層膜が設けられ、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層の上面あるいは下面の少なくとも一方に、直接にあるいは他層を介して絶縁部と導電部とが混在した電流制限層が設けられていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記電流制限層の下面あるいは上面のどちらか一方あるいは両方に、貴金属材料層が形成されている請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項3】 前記貴金属材料層は、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成されている請求項2記載の磁気検出素子。

【請求項4】 前記貴金属材料層に代えてCu層が形成される請求項2記載の磁気検出素子。

【請求項5】 少なくとも前記フリー磁性層の電流到達面側に、直接的にあるいは他層を介して前記電流制限層が設けられている請求項1ないし4のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項6】 前記電流制限層の前記絶縁部は、少なくとも前記電流制限層の上面から下面にまで通じる複数の孔が設けられた絶縁材料膜であり、この孔内に前記導電部となる導電性材料膜が埋め込まれている請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項7】 前記電流制限層の前記絶縁部は、膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝を有し、この溝は前記電流制限層の上面から下面にまで通じて形成されており、前記溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれている請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項8】 前記電流制限層の前記絶縁部は、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる孔と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる溝とが混在した絶縁材料膜であり、前記孔及び溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれている請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項9】 前記絶縁材料膜は、酸化膜あるいは窒化膜で形成される請求項6ないし8のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項10】 前記酸化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料で形成される請求項9記載の磁気検出素子。

【請求項11】 前記窒化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、

Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料で形成される請求項9記載の磁気検出素子。

【請求項12】 前記電流制限層の前記導電部は導電性粒子であり、前記導電性粒子は前記絶縁部となる絶縁性材料層内に分散されている請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項13】 前記電流制限層は、Feを主成分とした前記導電部となる微結晶粒が、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、OあるいはNとの化合物を含む前記絶縁部となる非晶質中に分散された膜構成である請求項12記載の磁気検出素子。

【請求項14】 前記電流制限層は、FeaMbO<sub>c</sub>の組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ であり、 $a + b + c = 100$ なる関係を満たす請求項12記載の磁気検出素子。

【請求項15】 前記電流制限層は、FedMeNfの組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ であり、 $d + e + f = 100$ なる関係を満たす請求項12記載の磁気検出素子。

【請求項16】 前記絶縁材料膜は主としてCoが酸化された層であり、この絶縁材料膜内に、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属材料で形成された導電性粒子が分散している請求項12記載の磁気検出素子。

【請求項17】 前記電流制限層の前記絶縁部は絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、前記導電部となる導電性材料膜内に分散されている請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項18】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層、およびフリー磁性層の順で多層膜を積層し、さらに前記フリー磁性層の上面に絶縁材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に、前記絶縁材料膜の上面から下面にまで通じる複数の孔を形成する工程と、(b) 前記絶縁材料膜上に導電性材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に形成された孔内を前記導電性材料膜で埋める工程と、(c) 前記絶縁材料膜と導電性材料膜とで構成された電流制限層上に第2の電極層を形成する工程。

【請求項19】 前記(a)工程で、貴金属元素からなる下地層を形成し、その後、前記下地層の上に前記絶縁材料膜を形成する請求項18記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項20】 前記下地層をRu、Pt、Au、R

h、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成する請求項19記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項21】 前記(a)工程で、Cuからなる下地層を形成し、その後、前記下地層の上に前記絶縁材料膜を形成する請求項18記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項22】 前記(a)工程で、前記絶縁材料膜をスパッタ成膜するとき、前記絶縁材料膜を前記フリー磁性層上あるいは下地層上で不連続体膜として形成する請求項18ないし21のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項23】 前記絶縁材料膜を、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料でスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止める請求項22記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項24】 前記(a)工程の絶縁材料膜の形成時において、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素からなる膜をスパッタで形成し、この金属元素からなる膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止め、その後、前記金属元素からなる膜を酸化し、この酸化膜を絶縁材料膜とする請求項22記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項25】 前記絶縁材料膜を、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料でスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止める請求項22記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項26】 前記(a)工程の絶縁材料膜の形成時において、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素からなる膜をスパッタで形成し、この金属元素からなる膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止め、その後、前記金属元素からなる膜を窒化し、この窒化膜を絶縁材料膜とする請求項22記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項27】 以下の工程を有することを特徴とする

磁気検出素子の製造方法。

(d) 下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層、およびフリー磁性層の順で多層膜を積層し、さらに前記フリー磁性層の上面に、FeaMbOc(ただし元素MはTi、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)なる組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ で、 $a+b+c=100$ なる関係を満たし、またFeを主成分とした微結晶粒が、元素MとOとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層をスパッタ成膜する工程と、(e) 前記電流制限層上に第2の電極層を形成する工程。

【請求項28】 前記電流制限層を熱処理する請求項27記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項29】 前記(d)工程のFeaMbOcに代えて、FedMeNf(ただし元素Mは、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)からなる組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ で、 $d+e+f=100$ なる関係を満たし、またFeを主成分とした微結晶粒が、元素MとNとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層をスパッタ成膜する請求項27または28に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項30】 前記(d)工程のFeaMbOcに代えて、電流制限層を、Coと、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属元素を含む材料をスパッタ成膜した後、熱処理を施すことでCoを酸化して形成する請求項27記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項31】 前記(d)工程において、前記電流制限層を形成する前に、前記フリー磁性層の上面に貴金属材料からなる下地層を形成する請求項27ないし30のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項32】 前記下地層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成する請求項31記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項33】 前記(d)工程において、前記電流制限層を形成する前に、前記フリー磁性層の上面にCuからなる下地層を形成する請求項27ないし30のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項34】 前記電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料からなる保護層を形成する請求項18ないし33のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項35】 前記電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、Cuからなる保護層を形成する請求項1

10

20

30

40

50

8ないし33のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項36】 前記保護層を第2の電極層とする請求項34または35に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項37】 下から、第1の電極層、電流制限層、フリー磁性層、非磁性中間層、固定磁性層及び反強磁性層の順で多層膜を積層する請求項18ないし36のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、C P P (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子に係り、特に光学的な素子サイズは大きくても実効的な素子サイズを小さくでき、効果的にしかも容易に再生出力を向上させることが可能な磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】図23は従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0003】図23に示す符号1はT aなどの下地層であり、その上にP t M nなどの反強磁性層2が形成されている。さらに前記反強磁性層2の上にはN i F eなどで形成された固定磁性層3が形成され、前記固定磁性層3の上にはC uなどで形成された非磁性中間層4が形成され、さらに前記非磁性中間層4の上にはN i F eなどで形成されたフリー磁性層5が形成されている。また前記フリー磁性層5の上にはT aなどの保護層6が形成されている。前記下地層1から保護層6までで多層膜9が構成される。

【0004】前記固定磁性層3の磁化は、前記反強磁性層2との交換異方性磁界によって図示Y方向に固定される。

【0005】また前記フリー磁性層5の磁化は、前記フリー磁性層5のトラック幅方向(図示X方向)の両側に形成されたハードバイアス層7、7からの縦バイアス磁界によって図示X方向に揃えられる。

【0006】図23に示すように、前記ハードバイアス層7、7の上には電極層8、8が形成されている。なおトラック幅T wは前記フリー磁性層5の上面のトラック幅方向(図示X方向)における長さで決定される。

【0007】図23に示す磁気検出素子のセンス電流の流れの向きは、多層膜9の各膜面に対しほぼ平行な方向に流れるC I P (current in the plane) 型と呼ばれるものであり、その模式図は図24に示されている。

【0008】図24に示すように、反強磁性層からフリー磁性層までの各層で構成される多層膜のフリー磁性層の上面の幅はトラック幅T wであり、また前記多層膜の膜厚はT、前記多層膜のハイト方向(図示Y方向)への長さはM R hである。

【0009】ここで例えば電流密度( $J = I / (M R h$

$\times T)$ )と膜厚Tを一定とし、前記トラック幅T wとハイト長さM R hを1/Sに縮小したとすると、前記多層膜の抵抗値Rは一定であり、よって抵抗変化量 $\Delta R$ も一定である。またセンス電流Iは1/S倍となる。したがって出力 $\Delta V (= \Delta R \times I)$ は1/S倍に小さくなってしまふ。

【0010】一方、発熱量Pを一定として、前記トラック幅T wとハイト長さM R hを1/Sに縮小したとすると、多層膜の抵抗値Rは一定であり、よって抵抗変化量 $\Delta R$ も一定であり、またセンス電流Iも一定であるから、出力 $\Delta V$ は一定値となる。

【0011】一方、多層膜の各膜面に対し垂直方向からセンス電流を流すC P P (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子の場合、以下のように出力( $\Delta V$ )が変化する。

【0012】図25はC P P型の磁気検出素子の模式図である。図24と同様に、前記磁気検出素子の多層膜のフリー磁性層の上面の幅で決められるトラック幅はT wで示され、また前記多層膜の膜厚はT、前記多層膜のハイト方向(図示Y方向)への長さはM R hである。

【0013】ここで上記したC I P型の場合と同様に、電流密度( $J = I / (T w \times M R h)$ )と膜厚Tを一定とし、前記トラック幅T wとハイト長さM R hを1/S倍に縮小したとすると、前記多層膜の抵抗値RはS2倍となり、よって抵抗変化量 $\Delta R$ もS2倍となる。またセンス電流Iは1/S2倍となる。したがって出力 $\Delta V (= \Delta R \times I)$ は一定である。

【0014】一方、発熱量Pを一定として、前記トラック幅T wとハイト長さM R hを1/S倍に縮小したとすると、多層膜の抵抗値RはS2倍となり、よって抵抗変化量 $\Delta R$ もS2倍となる。またセンス電流Iは1/S倍となるから、出力 $\Delta V$ はS倍に大きくなる。

【0015】このように素子サイズの狭小化が進むと、C I P型よりもC P P型にする方が再生出力 $\Delta V$ を大きくでき、C P P型は、今後の高記録密度化に伴う素子サイズの狭小化に適切に対応できるものと期待された。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながらC P P型の磁気検出素子は、前記トラック幅T w及びハイト方向への長さM R hが0.1  $\mu m$ 以下とならないと(すなわち素子面積が0.01  $\mu m^2$ 以下とならないと)、C I P型よりも効果的に高い再生出力を得られないことがわかった。

【0017】今後の高記録密度化に伴って素子サイズは徐々に小さくなっていくものと考えられるが、0.1  $\mu m$ 角の素子面積を有する磁気検出素子を形成することは、現時点でのフォトリソグラフィ技術の精度では極めて困難であるとともに、あまり素子サイズを小さくしすぎても、記録媒体からの漏れ磁界を有効に前記磁気検出素子で検出することができなくなり、再生出力の低下

や再生波形の安定性の低下を招くものと考えられる。

【0018】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、光学的な素子サイズを小さくすることなく、実効的な素子サイズを小さくでき、効果的にしかも容易に再生出力を向上させることが可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的としている。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明は、反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層及びフリー磁性層を有する多層膜が設けられ、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、前記フリー磁性層の上面あるいは下面の少なくとも一方に、直接にあるいは他層を介して絶縁部と導電部とが混在した電流制限層が設けられていることを特徴とするものである。

【0020】本発明はCPP型の磁気検出素子であり、センス電流は、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に流れる。

【0021】従って前記センス電流は、前記電流制限層内を垂直に流れるが、本発明では、フリー磁性層の上面あるいは少なくとも一方に直接にあるいは他層を介して設けられた前記電流制限層を絶縁部と導電部とが混在する構成としているから、前記センス電流は前記導電部内のみに流れることになる。

【0022】このため電極層から前記電流制限層を介してフリー磁性層内に流れるセンス電流は、前記フリー磁性層内を前記導電部と対向する部分のみに局部的に流れる（この部分の電流密度が局所的に高くなることになる）。

【0023】したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を従来と同程度に大きく形成しても実際に前記フリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に關与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を小さくでき、よって従来と同程度の精度を有するフォトリソグラフィ技術を用いて光学的な素子サイズが大きい前記磁気検出素子を形成しても、再生出力の高いCPP型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

【0024】また素子サイズを従来と同程度に大きく形成できるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に前記磁気検出素子で検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

【0025】また本発明では、前記電流制限層の下面あるいは上面のどちらか一方あるいは両方に、貴金属材料層が形成されていることが好ましい。本発明では前記電流制限層は、これを縦断面（膜厚方向から切断した面）で見たときに、開口部（すなわちセンス電流の電流経路となる部分）と非開口部の導電率のコントラストが高い

ことが必要である。

【0026】図26は、上記したコントラストが悪い例であり、図26に示すように、GMR膜上一面に凹凸のある絶縁膜（絶縁部）が形成されている。このような絶縁膜の形成は例えば酸化が必要以上に進んだ場合である。そしてこの絶縁膜の上に導電膜が形成され、この絶縁膜と導電膜とで電流制限層が構成されている。しかし図26に示す例では、前記絶縁膜がGMR膜上の一面に形成されているので、この電流制限層内を通過する電流（矢印で示されている）が、膜厚の薄い絶縁膜の部分に流れやすくなるものの適切に電流経路を絞り込むことができず、コンタクト抵抗値が増大するだけで、見かけ上の $\Delta R \cdot A$ （抵抗変化量 $\times$ 素子面積）は適切に改善されない。

【0027】一方、図27は、上記したコントラストが良好な例であり、図27に示すようにGMR膜上には、貴金属で形成された下地層の上に電流制限層が形成されている。

【0028】前記電流制限層を構成する絶縁膜（絶縁部）は前記下地層上に例えば島状に点在して形成され、前記絶縁膜間には、下面から上面にかけて複数の孔が形成され、この孔が開口部となる。そして導電膜（導電部）がこの孔内を埋めている。図27に示す例では、開口部（孔）と非開口部（絶縁部）とのコントラストが良好で、前記電流制限層内を流れる電流（矢印で示されている）は、前記開口部に集中して流れ、適切に電流経路が絞り込まれている。よって図26の例に比べて見かけ上の $\Delta R \cdot A$ （抵抗変化量 $\times$ 素子面積）を向上させることができ、再生出力等の再生特性の向上を適切に図ることができる。

【0029】上記したコントラストを良好にするには図27に示すように、貴金属の下地層を敷くことが好ましい。前記貴金属の下地層は、表面エネルギー（ $\gamma_s$ ）が小さく、適切に前記下地層上に例えば島状の絶縁膜を成長させることができる。このように島状に膜成長することをVolmer-Weber（VW）型成長と呼ぶ。このVW型成長の詳細については、日本応用磁気学会誌「薄膜成長プロセス概論」Vol. 14, No. 3, 1990（P527-P531）を参照されたい。

【0030】また前記貴金属の下地層を敷くことで、例えば前記下地層上に金属の薄い膜を島状に膜成長させ、この薄い膜を酸化したとき、この酸化が前記下地層の下に形成されているGMR膜にまで及ばない。GMR膜にまで酸化が及ぶと図26のようにコントラストが悪化するが、GMR膜にまで酸化が及ばないから開口部と非開口部とのコントラストを良好に保つことができるのである。

【0031】また前記電流制限層の上に前記貴金属元素からなる層（保護層）を設けることで、前記電流制限層形成後、製造工程中に施される熱処理により前記電流制



限層上に形成された層にまで酸素が拡散せず、依然として良好なコントラストを保つことができるのである。

【0032】本発明では、前記貴金属材料層は、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成されていることが好ましい。あるいは前記貴金属材料層に代えてCu層が形成されていてもよい。

【0033】また本発明では、少なくとも前記フリー磁性層の電流到達面側に、直接的にあるいは他層を介して前記電流制限層が設けられていることが好ましい。これにより適切にセンス電流の電流経路を絞り込み、実効的な素子面積を小さくできるので、再生出力の高いCPP型磁気検出素子を製造することが可能になる。

【0034】また本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、少なくとも前記電流制限層の上面から下面にまで通じる複数の孔が設けられた絶縁材料膜であり、この孔内に前記導電部となる導電性材料膜が埋め込まれていることが好ましい。

【0035】または本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝を有し、この溝は前記電流制限層の上面から下面にまで通じて形成されており、前記溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれていることが好ましい。

【0036】あるいは本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる孔と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる溝とが混在した絶縁材料膜であり、前記孔及び溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれていることが好ましい。

【0037】また本発明では、前記絶縁材料膜は、酸化膜あるいは窒化膜で形成されることが好ましい。このとき前記酸化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。

【0038】また前記窒化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。

【0039】あるいは本発明では、前記電流制限層の前記導電部は導電性粒子であり、前記導電性粒子は前記絶縁部となる絶縁性材料層内に分散されていることが好ましい。

【0040】具体的な例としては、前記電流制限層は、Feを主成分とした前記導電部となる微結晶粒が、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、Oあるい

はNとの化合物を含む前記絶縁部となる非晶質中に分散された膜構成であることが好ましい。

【0041】なお上記の場合、前記電流制限層は、FeaMbOcの組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ であり、 $a + b + c = 100$ なる関係を満たすことが好ましい。

【0042】また本発明では、前記電流制限層は、FedMenfの組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ であり、 $d + e + f = 100$ なる関係を満たすことが好ましい。

【0043】また本発明では、前記絶縁材料膜は主としてCoが酸化された層であり、この絶縁材料膜内に、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属材料で形成された導電性粒子が分散していてもよい。

【0044】または本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、前記導電部となる導電性材料膜内に分散されていてもよい。

【0045】上記した電流制限層では、いずれも適切に絶縁部と導電部とが混在する膜構成とすることができ、実効的な素子サイズの狭小化を適切に図ることが可能である。

【0046】また本発明における磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層、およびフリー磁性層の順で多層膜を積層し、さらに前記フリー磁性層の上面に絶縁材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に、前記絶縁材料膜の上面から下面にまで通じる複数の孔を形成する工程と、(b) 前記絶縁材料膜上に導電性材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に形成された孔内を前記導電性材料膜で埋める工程と、(c) 前記絶縁材料膜と導電性材料膜とで構成された電流制限層上に第2の電極層を形成する工程。

【0047】上記の工程によって、フリー磁性層の上面に容易に、例えば下面から上面にまで通じる複数の孔が設けられた絶縁材料膜と、この孔内に埋め込まれた導電材料層とで構成される電流制限層を容易に形成することが可能である。

【0048】また本発明では、前記(a)工程で、貴金属元素からなる下地層を形成し、その後、前記下地層の上に前記絶縁材料膜を形成することが好ましい。このとき前記下地層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。

【0049】あるいは前記(a)工程で、Cuからなる下地層を形成し、その後、前記下地層の上に前記絶縁材

料膜を形成してもよい。

【0050】また本発明では、前記(a)工程で、前記絶縁材料膜をスパッタ成膜するとき、前記絶縁材料膜を前記フリー磁性層上あるいは下地層上で不連続体膜として形成することが好ましい。これにより、前記絶縁材料膜に例えば下面から上面にまで通じる複数の孔を形成することが容易になる。前記絶縁材料膜を不連続体膜とするには、材料の選定とスパッタ条件が重要である。スパッタ条件とは、基板温度やArガス圧、基板とターゲット間の距離などである。

【0051】また上記したように、前記貴金属元素からなる下地層を敷いておくと、前記絶縁材料膜を特に不連続体膜として形成しやすくなる。その理由は前記下地層の表面エネルギーはGMR膜表面に比べて低く、元素が凝集して核を形成しやすいからである。

【0052】また本発明では、前記絶縁材料膜を、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料でスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止めることが好ましい。

【0053】また本発明では、前記(a)工程の絶縁材料膜の形成時において、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素をスパッタで形成し、この金属元素からなる膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止め、その後、前記金属元素からなる膜を酸化し、この酸化膜を絶縁材料膜とすることが好ましい。

【0054】上記したように、酸化工程が必要な場合、特に前記電流制限層の下には貴金属元素で形成された下地層を敷いておくことで、前記下地層の下に形成されたGMR膜まで前記酸化が及ぶのを適切に回避することができ、前記電流制限層の開口部と非開口部とのコントラストを良好に保つことができる。

【0055】また本発明では、前記絶縁材料膜を、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料でスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止めることが好ましい。

【0056】あるいは本発明では、前記(a)工程の絶縁材料膜の形成時において、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、

Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素をスパッタで形成し、この金属元素からなる膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が残された状態でスパッタを止め、その後、前記金属元素からなる膜を窒化し、この窒化膜を絶縁材料膜とすることが好ましい。

【0057】また本発明における磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。(d)下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性中間層、およびフリー磁性層の順で多層膜を積層し、さらに前記フリー磁性層の上面に、FeaMbOc(ただし元素MはTi、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)なる組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ で、 $a+b+c=100$ なる関係を満たし、またFeを主成分とした微結晶粒が、元素MとOとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層をスパッタ成膜する工程と、(e)前記電流制限層上に第2の電極層を形成する工程。

【0058】本発明では、上記した電流制限層を熱処理し、この熱処理によって膜内の酸化されやすい元素の酸化を促進させて、前記電流制限層の開口部の割合(比率)を調整することが好ましい。前記開口部の割合は全体の10%~30%程度であることが好ましい。

【0059】あるいは本発明では、前記(d)工程のFeaMbOcに代えて、FedMeNf(ただし元素Mは、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)からなる組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ で、 $d+e+f=100$ なる関係を満たし、またFeを主成分とした微結晶粒が、元素MとNとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層をスパッタ成膜してもよい。

【0060】上記の製造方法では、フリー磁性層の上面に、Feを主成分とした微結晶粒が、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、OあるいはNとの化合物を含む非晶質中に分散された電流制限層を容易に形成することができる。

【0061】また本発明では、前記(d)工程のFeaMbOcに代えて、電流制限層を、Coと、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属元素を含む材料をスパッタ成膜した後、熱処理を施すことでCoを酸化して形成してもよい。

【0062】また本発明では、前記(d)工程において、前記電流制限層を形成する前に、前記フリー磁性層

の上面に貴金属材料からなる下地層を形成することが好ましい。

【0063】特に上記したように電流制限層に対し熱処理を施して酸化層の割合を進行させる製造工程を用いる場合には、前記電流制限層の下に貴金属元素からなる下地層を設けることで、前記下地層の下に形成されたGMR膜にまで酸化が及ばないようにすることが可能である。

【0064】なお前記下地層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいは前記(d)工程において、前記電流制限層を形成する前に、前記フリー磁性層の上面にCuからなる下地層を形成することが好ましい。

【0065】また本発明では、前記電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料からなる保護層を形成することが好ましい。あるいは電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、Cuからなる保護層を形成することが好ましい磁気検出素子の製造工程において、前記電流制限層を形成した後、熱処理を施す場合があるが、前記貴金属元素からなる保護層を設けたことで、前記電流制限層上に形成された層への酸素の拡散を適切に防止することが可能である。なおかかる場合、前記保護層を第2の電極層とすることができる。

【0066】また本発明では、下から、第1の電極層、電流制限層、フリー磁性層、非磁性中間層、固定磁性層及び反強磁性層の順で多層膜を積層するものであってもよい。

【0067】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1実施形態の磁気検出素子(シングルスピナルバルブ型磁気抵抗効果素子)の全体構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお、図1ではX方向に延びる素子の中央部分のみを破断して示している。

【0068】図1に示す磁気検出素子の上下には、ギャップ層(図示せず)を介してシールド層(図示せず)が設けられており、前記磁気検出素子、ギャップ層及びシールド層を合わせてMRヘッドと呼ばれる。

【0069】なお図1に示す電極層20、33が前記ギャップ層を兼ねていてもよいし、あるいは前記電極層20、33が磁性材料で形成されるときは、シールド層を兼ねていてもよい。

【0070】前記MRヘッドは、記録媒体に記録された外部信号を再生するためのものである。また本発明では、前記MRヘッドの上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。前記磁気検出素子の上面に形成されたシールド層(上部シールド層)は、前記インダクティブヘッドの下部コア層として兼用されてもよ

い。

【0071】また前記MRヘッドは、例えばアルミナ-チタンカーバイト( $Al_2O_3-TiC$ )で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。前記スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【0072】図1に示す符号20は、第1の電極層である。前記第1の電極層20は、例えば $\alpha-Ta$ 、Au、Cr、Cu(銅)やW(タングステン)などで形成されている。

【0073】前記第1の電極層20の上面中央には、下地層21が形成される。前記下地層21は、Ta、Hf、Nb、Zr、Ti、Mo、Wのうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。前記下地層21は50Å以下程度の膜厚で形成される。なおこの下地層21は形成されていなくても良い。

【0074】次に前記下地層21の上にはシードレイヤ22が形成される。前記シードレイヤ22は、主として面心立方晶から成り、次に説明する反強磁性層23との界面と平行な方向に(111)面が優先配向されている。前記シードレイヤ22は、NiFe合金、あるいはNi-Fe-Y合金(ただしYは、Cr、Rh、Ta、Hf、Nb、Zr、Tiから選ばれる少なくとも1種以上)で形成されることが好ましい。これらの材質で形成されたシードレイヤ22はTa等で形成された下地層21上に形成されることにより反強磁性層23との界面と平行な方向に(111)面が優先配向しやすくなる。前記シードレイヤ22は、例えば30Å程度で形成される。

【0075】なお本発明における磁気検出素子は各層の膜面と垂直方向にセンス電流が流れるCPP型であるため、前記シードレイヤ22にも適切にセンス電流が流れる必要がある。よって前記シードレイヤ22は比抵抗の高い材質でないことが好ましい。すなわちCPP型では前記シードレイヤ22はNiFe合金などの比抵抗の低い材質で形成されることが好ましい。なお前記シードレイヤ22は形成されなくても良い。

【0076】次に前記シードレイヤ22上には反強磁性層23が形成される。前記反強磁性層23は、元素X(ただしXは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうち1種または2種以上の元素である)とMnとを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。あるいは前記反強磁性層23は、元素Xと元素X'(ただし元素X'は、Ne、Ar、Kr、Xe、Be、B、C、N、Mg、Al、Si、P、Ti、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、Zr、Nb、Mo、Ag、Cd、Sn、Hf、Ta、W、Re、Au、Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である)とMnとを含有する反強磁性材料により形成され

ることが好ましい。

【0077】これらの反強磁性材料は、耐食性に優れしかもブロッキング温度も高く次に説明する固定磁性層 24 との界面で大きな交換異方性磁界を発生し得る。また前記反強磁性層 23 は 80 Å 以上で 300 Å 以下の膜厚で形成されることが好ましい。

【0078】次に前記反強磁性層 23 の上には固定磁性層 24 が形成されている。この実施形態では前記固定磁性層 24 は 3 層構造で形成されている。

【0079】前記固定磁性層 24 を構成する符号 51 及び 53 の層は磁性層であり、例えば Co、CoFe、NiFe、CoFeNi など形成される。前記磁性層 51、53 間には Ru など形成された中間層 52 が介在し、この構成により、前記磁性層 51 と前記磁性層 53 の磁化方向は互いに反平行状態にされる。これはいわゆる人工フェリ構造と呼ばれる。

【0080】前記反強磁性層 23 と、前記固定磁性層 24 の前記反強磁性層 23 に接する磁性層 51 との間には磁場中熱処理によって交換異方性磁界が発生し、例えば前記磁性層 51 の磁化がハイト方向（図示 Y 方向）に固定された場合、もう一方の磁性層 53 は RKKY 相互作用により、ハイト方向とは逆方向（図示 Y 方向と逆方向）に磁化され固定される。この構成により前記固定磁性層 24 の磁化を安定した状態にでき、また前記固定磁性層 24 と前記反強磁性層 23 との界面で発生する交換異方性磁界を見かけ上大きくすることができる。

【0081】なお例えば、前記磁性層 51、53 の膜厚はそれぞれ 10～70 Å 程度で形成される。また中間層 52 の膜厚は 3 Å～10 Å 程度で形成される。

【0082】また前記磁性層 51、53 はそれぞれ単位面積当たりの磁気モーメントが異なるように、前記磁性層 51、53 の材質や膜厚がそれぞれ異なっている。前記磁気モーメントは飽和磁化  $M_s \times$  膜厚  $t$  で設定され、例えば前記磁性層 51、53 を共に同じ材質で同じ組成の材料で形成するとき、前記磁性層 51、53 の膜厚を異ならせることで、前記磁性層 51、53 の磁気モーメントを異ならせることができる。これによって適切に前記磁性層 51、53 を人工フェリ構造にすることが可能である。

【0083】なお本発明では前記固定磁性層 24 はフェリ構造ではなく NiFe 合金、NiFeCo 合金、あるいは CoFe 合金などの単層膜あるいは積層膜で形成されていても良い。

【0084】前記固定磁性層 24 の上には非磁性中間層 25 が形成されている。前記非磁性中間層 25 は例えば Cu などの電気抵抗の低い導電性材料によって形成される。前記非磁性中間層 25 は例えば 25 Å 程度の膜厚で形成される。

【0085】次に前記非磁性中間層 25 の上にはフリー磁性層 26 が形成される。前記フリー磁性層 26 は 2 層

構造で形成され、前記非磁性中間層 25 と対向する側に Co 膜 54 が形成されていることが好ましい。これにより前記非磁性中間層 25 との界面での金属元素等の拡散を防止でき、抵抗変化率 ( $\Delta GMR$ ) を大きくすることができる。また前記 Co 膜 54 上には、NiFe 合金、CoFe 合金、Co、CoNiFe 合金などにより形成された磁性層 55 が形成されることが好ましい。また前記フリー磁性層 26 の全体の膜厚は、20 Å 以上で 100 Å 以下程度の膜厚で形成されることが好ましい。

【0086】なお前記フリー磁性層 26 は上記したいずれかの磁性材料を使用した 1 層構造で形成されていても良い。

【0087】前記フリー磁性層 26 の上には電流制限層 27 が形成されている。前記電流制限層 27 の膜構造等に関しては、後から詳しく説明する。

【0088】本発明では、前記下地層 21 から前記電流制限層 27 までの多層膜 28 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側端面 28a、28a は、連続した傾斜面となっており、前記多層膜 28 は略台形状となっている。

【0089】図 1 に示すように、前記多層膜 28 のトラック幅方向の両側領域には、絶縁層 29 が形成されている。前記絶縁層 29 は例えば  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  など一般的な絶縁材料で形成される。

【0090】前記絶縁層 29 の上面 29a は、前記フリー磁性層 26 の下面よりも図示下側（図示 Z 方向とは逆方向）に形成されていることが好ましい。

【0091】前記絶縁層 29 の上には、バイアス下地層 30 が形成されている。また前記バイアス下地層 30 の上にはハードバイアス層 31 が形成されている。前記ハードバイアス層 31 は、前記フリー磁性層 26 の両側に対向する位置に形成される。前記ハードバイアス層 31 は、トラック幅方向（図示 X 方向）に磁化されており、前記ハードバイアス層 31 からの縦バイアス磁界によって、前記フリー磁性層 26 の磁化は図示 X 方向に揃えられる。

【0092】前記バイアス下地層 30 は前記ハードバイアス層 31 の特性（保磁力  $H_c$ 、角形比  $S$ ）を向上させるために設けられたものである。

【0093】本発明では、前記バイアス下地層 30 は、結晶構造が体心立方構造（bcc 構造）の金属膜で形成されることが好ましい。なおこのとき前記バイアス下地層 30 の結晶配向は（100）面が優先配向するのが好ましい。

【0094】また前記ハードバイアス層 31 は、CoPt 合金や CoPtCr 合金などで形成される。これら合金の結晶構造は、稠密六方構造（hcp）単相あるいは面心立方構造（fcc）と稠密六方構造（hcp）の混相となっている。

【0095】ここで上記の金属膜で形成されたバイアス下地層 30 とハードバイアス層 31 を構成する CoPt

系合金のhcp構造の格子定数は近い値となるために、CoPt系合金はfcc構造を形成しづらくhcp構造で形成されやすくなる。このときhcp構造のc軸はCoPt系合金とバイアス下地層の境界面内に優先配向される。前記hcp構造はfcc構造に比べてc軸方向に大きな磁気異方性を生じるため、ハードバイアス層31に磁界を与えたときの保磁力Hcは大きくなるのである。さらにhcpのc軸はCoPt系合金とバイアス下地層との境界面内で優先配向となっているため、残留磁化が増大し、残留磁化/飽和磁束密度で求められる角形比Sは大きくなる。その結果、前記ハードバイアス層31の特性を向上させることができ、前記ハードバイアス層31から発生するバイアス磁界を増大させることができる。

【0096】本発明では、結晶構造が体心立方構造(bcc構造)の金属膜は、Cr, W, Mo, V, Mn, Nb, Taのいずれか1種または2種以上の元素で形成されることが好ましい。

【0097】また本発明では前記バイアス下地層30はハードバイアス層31の下側にのみ形成されていることが好ましいが、前記多層膜28の両側端面28aとハードバイアス層31間にも若干、介在してもよい。前記多層膜28の両側端面28aに形成されるバイアス下地層30のトラック幅方向(図示X方向)における膜厚は1nm以下であることが好ましい。

【0098】これにより前記ハードバイアス層31とフリー磁性層26とを磁気的に連続体にできるから、前記フリー磁性層26の端部が反磁界の影響を受けるバックリング現象などの問題も発生せず、前記フリー磁性層26の磁区制御を容易にできる。

【0099】また図1に示すように、前記ハードバイアス層31の上には絶縁層32が形成されている。前記絶縁層32は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>などの一般的な絶縁材料で形成される。

【0100】なおこの実施形態では、前記絶縁層32の上面と電流制限層27の上面とが同一面上で平坦化されているが、前記絶縁層32の上面と前記電流制限層27の上面とが同一面上である必要はない。

【0101】そして前記絶縁層32上から電流制限層27上にかけて第2の電極層33が形成される。前記第2の電極層33は前記第1の電極層20と同様に、例えばα-Ta、Au、Cr、Cu(銅)やW(タングステン)などで形成されている。

【0102】この実施形態では、前記第2の電極層33から第1の電極層20に向けてセンス電流が流れるが、第1の電極層20から第2の電極層33に向けて前記センス電流が流れても良い。従って前記センス電流は、多層膜28内の各層を膜面と垂直方向に流れ、このようなセンス電流の流れ方向はCPP型と呼ばれる。

【0103】この磁気検出素子では、固定磁性層24、

非磁性中間層25及びフリー磁性層26に検出電流(センス電流)が与えられ、ハードディスクなどの記録媒体の走行方向はZ方向であり、記録媒体からの洩れ磁界がY方向に与えられると、フリー磁性層26の磁化が図示X方向の一方からY方向へ向けて変化する。このフリー磁性層26内での磁化の方向の変動と、固定磁性層24の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し(これを磁気抵抗効果という)、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0104】ところで本発明では図1に示すように、前記フリー磁性層26と第2の電極層33との間に電流制限層27が形成されている。

【0105】本発明における電流制限層27は例えば図9に示す膜構成である。図9は、反強磁性層23、固定磁性層24、非磁性中間層25、フリー磁性層26及び電流制限層27の部分模式図である。

【0106】図9に示すように前記電流制限層27は、複数の孔56が形成された絶縁材料膜(絶縁部)57が母材となっている。前記孔56のうち少なくとも一部の孔56は、前記絶縁材料膜57を下面から上面にまで貫通している。

【0107】図9に示すように、前記絶縁材料膜57上には導電性材料膜(導電部)58が形成されている。前記導電性材料膜58は前記絶縁材料膜57に形成された孔56内にも形成されており、前記孔56は前記導電性材料膜58によって埋められた状態になっている。なお図9では、図面上の記載を簡潔にするため、一部の孔のみに「孔56」及び「導電性材料膜58」なる文言を記入している。

【0108】ここで前記絶縁材料膜57は、酸化膜あるいは窒化膜で形成されることが好ましい。また前記酸化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pd、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。また窒化膜は、Ag、Cu、Zn、Ge、Pd、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。

【0109】これら酸化膜及び窒化膜は、前記フリー磁性層26上で薄く成膜されると、スパッタ成膜の際に凝集して不連続体膜になりやすい材質である。前記不連続体膜になると前記絶縁材料膜57には図9に示すような上面から下面にまで貫通する孔56が形成されやすくなる。

【0110】また前記不連続体膜となるか否かは材質の選定のみならず、スパッタ条件も重要な要素である。前記絶縁材料膜57を不連続体膜とするためのスパッタ条

件は、基板温度を $20^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 程度に低くしたり、 $\text{Ar}$ ガス圧を $10\sim 50\text{mTorr}$  ( $1.3\sim 6.7\text{Pa}$ ) 程度に高くしたり、また基板とターゲット間の距離を $200\sim 300\text{mm}$ 程度に離したりすること等である。

【0111】なお上記したスパッタ成膜では、例えば、RFスパッタ法、RFマグネトロンスパッタ法、DCマグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれか、またはそれらを組み合わせたスパッタ法などを使用できる。

【0112】次に導電性材料膜58は、一般的な導電性材料を使用することができ、例えば電極層20、33と同様に $\alpha\text{-Ta}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Cu}$  (銅) や $\text{W}$  (タングステン) など形成することもできるが、前記導電性材料膜58は $\text{Ru}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Re}$ のうちいずれか1種または2種以上の貴金属元素から形成されていることが好ましい。なお $\text{Cu}$ が添加されていてもよい。

【0113】貴金属元素はそれ自体、酸化されにくい材質であり、絶縁材料膜57上及び孔56内に前記貴金属元素から形成された導電性材料膜58を形成することで、熱処理などによって酸素の拡散を抑制でき、図9に示す開口部 (孔) と非開口部 (絶縁材料層) とのコントラストを良好に保つことができる。

【0114】以上のように本発明ではフリー磁性層26上に絶縁部と導電部とが混在した電流制限層27を設けることで、次のような効果を期待することができる。

【0115】すなわち本発明のようにC P P型の磁気検出素子では、第2の電極層33から流れるセンス電流は、前記電流制限層27内を膜面と垂直方向に流れるが、本発明では、前記電流制限層27を絶縁材料膜 (絶縁部) 57に形成された孔56内に導電性材料膜 (導電部) 58を埋め込んだ構造としているから、前記センス電流は前記導電性材料膜58内のみに流れることになる。

【0116】このため第2の電極層33から前記電流制限層27を介してフリー磁性層26内に流れるセンス電流は、前記フリー磁性層26内を前記導電性材料膜58と対向する部分のみに局部的に流れる (この部分の電流密度が局所的に高くなることになる)。

【0117】したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層26の素子面積 (この素子面積を光学的な素子面積という) を従来と同程度に大きく形成しても実際に前記フリー磁性層26内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積 (この素子面積を実効的な素子面積という) を小さくでき、よって従来と同程度の精度を有するフォトリソグラフィ技術を用いて光学的な素子サイズが大きい前記磁気検出素子を形成しても、再生出力の高いC P P型の磁気検出素子

を容易に形成することができる。

【0118】なお本発明では、上記のように従来と同程度の素子面積で磁気検出素子を形成でき、具体的には図9に示すトラック幅 $T_w$ を $0.15\sim 0.3\mu\text{m}$ に形成でき、またハイト方向の長さ $M_R h$ を $0.15\sim 0.3\mu\text{m}$ に形成でき、よって光学的な素子面積を $0.02\sim 0.09\mu\text{m}^2$ に大きく形成できる。

【0119】また本発明では、前記実効的な素子面積は、 $0.01\mu\text{m}^2$ 以下であることが好ましい。実効的な素子面積の求め方としては、例えば光学的な素子面積 ( $T_w \times M_R h$ ) に、孔56の開口率をかけて求めることができる。これは、GMR膜単独の抵抗値と、電極を含んだ素子全体の抵抗値との差から概略で求めることができる。

【0120】また前記電流制限層27を膜面と平行な平面から見たときに、前記開口部 (孔56) の割合は $10\%\sim 30\%$ 程度であることが好ましい。

【0121】また本発明では、光学的な素子面積は従来と同程度であるから、記録媒体からの外部磁界を有効に前記磁気検出素子で検出することができ、感度の良い再生特性に優れたC P P型磁気検出素子を製造することができる。

【0122】また本発明では前記電流制限層27の膜構成は図9のようなものに限らず、例えば他に図10のような膜構成を提示できる。

【0123】図10に示す電流制限層27の前記絶縁材料膜57には、前記電流制限層を膜面と平行な方向から見たときに、連続して延びる溝68が形成され、この溝68は前記電流制限層27の上面から下面にまで通じて形成されている。前記溝68の平面形状は細長の曲線であったり、途中で枝別れしているが、形状はどのようなものであってもよい。そして前記溝68内及び絶縁材料膜57上に導電材料膜58が形成されている。この図9と図10との絶縁材料膜57の形状の違いは薄膜の核成長の違いによるものである。薄膜 (絶縁材料膜57あるいは絶縁材料膜57の基になる層) は、フリー磁性層26上でまず島状に成長していき、さらに成長させると、これら島どうしがくっつきはじめ、図10のような連続して延びる溝68を形成する。

【0124】すなわち薄膜の成長をどの段階で止めるかによって、前記電流制限層27の平面形状は変化していく。ここで重要なのは、前記電流制限層27を構成する絶縁材料膜57に下面から上面にかけて貫通する孔56あるいは溝68が適切に形成されていることである。このような孔56あるいは溝68が貫通して形成されると、この孔56あるいは溝68内に埋め込まれた導電性材料膜58がフリー磁性層26まで電流を流す経路となり、適切に電流経路を絞り込むことができる。これは既に図26及び図27のところで説明した通りであり、本発明では図27のように絶縁材料膜がフリー磁性層上

を完全に覆っているのではなく、所々に貫通する孔や溝が設けられ、この孔や溝内に導電性材料層が埋め込まれている。

【0125】なお図27は前記電流制限層27の下に貴金属元素からなる下地層が設けられた例であるが、この実施例については後で図面を参照して詳述する。

【0126】また図10のように、前記電流制限層27の絶縁材料膜57には、前記電流制限層27の上面から下面にまで通じる孔56と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、前記電流制限層27の上面から下面にまで通じる溝68とが混在していてもよい。

【0127】次に図9に示す電流制限層27は、複数の孔56が形成された絶縁材料膜57と、この孔56を埋める導電性材料膜58とで構成されているが、本発明では、以下の膜構成を有する電流制限層27でもよい。

【0128】本発明では、例えば絶縁材料のターゲットと導電性材料のターゲットを用意し、これら2つのターゲットを同時にスパッタすることで、前記フリー磁性層26上には絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子とが混在した電流制限層27を形成することができる。

【0129】具体的には、前記電流制限層27の導電部は導電性粒子であり、前記導電性粒子は絶縁部となる絶縁材料膜内に分散されている膜構成を提供することができる。

【0130】上記膜構成を有する電流制限層27を例示すると、前記電流制限層27は、Feを主成分とした導電部となる微結晶粒が、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、OあるいはNとの化合物を含む絶縁部となる非晶質中に分散された膜構成である。

【0131】この電流制限層27では、FeaMbOcの組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ であり、 $a + b + c = 100$ なる関係を満たすことが好ましい。

【0132】あるいは前記電流制限層27では、FedMeNfの組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ であり、 $d + e + f = 100$ なる関係を満たすことが好ましい。

【0133】上記の電流制限層27の形成は、例えばFeのターゲットと、HfO2のターゲットの2つを用意し、これら2つのターゲットをスパッタする。これにより、非晶質相のマトリックスの内部にbccFeを主成分とした微結晶粒が多数析出された前記電流制限層27を形成することができる。

【0134】なお上記したスパッタ成膜では、例えば、RFスパッタ法、RFマグネトロンスパッタ法、DCマグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれか、またはそれらを組み合わせたスパッタ法などを使用

できる。

【0135】あるいは本発明では、前記電流制限層27を構成する絶縁材料膜は主としてCoが酸化された層であり、この絶縁材料膜内に、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成された導電性粒子が分散している、電流制限層27を形成することができる。

【0136】あるいは、前記電流制限層27の絶縁部は絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、導電部となる導電性材料膜内に分散されている膜構成であってもよい。

【0137】なお上記した導電性粒子にはCuなどの一般的な導電性材料を使用でき、絶縁性粒子には、Al2O3などの一般的な絶縁性材料を使用することもできる。

【0138】また上記したように導電性粒子を混在させたいいわゆるグラニュー膜で電流制限層27を形成するときは、前記導電性粒子の粒径より前記電流制限層27の膜厚が薄くないと、前記導電性粒子がセンス電流の電流経路として適切に機能せず、再生出力等の再生特性の悪化を招く。

【0139】次に本発明における磁気検出素子の膜厚について以下に説明する。

【0140】本発明では、前記固定磁性層24（但し図1の場合は実質的に磁気抵抗効果に寄与する磁性層53）、非磁性中間層25及びフリー磁性層26の総合膜厚T2（図1を参照のこと）は60Å以上で300Å以下であることが好ましい。例えば前記固定磁性層24の膜厚は20Å程度、非磁性中間層25の膜厚は20Å程度、フリー磁性層26の膜厚は30Å程度である。

【0141】前記固定磁性層24からフリー磁性層26までの総合膜厚T2が60Å以上で300Å以下であると、前記総合膜厚T2は伝導電子の平均自由行程と同じくらいか、あるいはそれよりもやや小さい程度になる。このため前記伝導電子は、前記フリー磁性層26内を散乱されることなしに自由に通過することが可能であり、磁気検出素子の抵抗変化率(ΔMR)の向上を図ることが可能である。なお前記総合膜厚T2が60Å以下の膜厚であると、再生出力が低下し好ましくない。

【0142】また図1に示す磁気検出素子ではセンス電流は第2の電極層33から第1の電極層20に向かって流れ（逆でもよい）、前記電流制限層27は前記フリー磁性層26の前記センス電流の到達面側（図1において、センス電流が第2の電極層33から第1の電極層20に向かって流れているときフリー磁性層26の上面がセンス電流の伝導電子の到達面側、下面がセンス電流の伝導電子の通過面側である）に形成されている。これにより前記センス電流は前記電流制限層27の部分で効果的に絞り込まれて実効的な素子面積を小さくでき、再生出力の高いC/P型磁気検出素子を製造することができ

る。

【0143】次に図1に示す磁気検出素子の膜構造の特徴点について以下に説明する。図1に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層26のトラック幅方向（図示X方向）の両側にハードバイアス層31が設けられているが、その上下は絶縁層29、32で囲まれている。

【0144】このため前記第1の電極層20と第2の電極層33間を流れるセンス電流は、下地層21から電流制限層27までの多層膜28の両側領域には分流しなくなり、したがって前記センス電流は適切に前記多層膜28内を流れて、高い再生出力を得ることが可能である。

【0145】また前記総合膜厚T2が伝導電子の平均自由行程より小さい場合は、伝導電子は、その方向を変えることなしに直接、垂直方向に流れて他の電極層に達する。この場合は、絶縁層29と32のうちどちらか一方を省略してもよい。

【0146】以下、図1に示す磁気検出素子以外の膜構成について説明する。図2は本発明における第2実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1と同じ符号が付けられた層は、図1と同じ層と示している。

【0147】図2に示す実施形態では、前記第1の電極層20の中央上面に、下から電流制限層27、フリー磁性層26、非磁性中間層25、固定磁性層24及び反強磁性層23の順で積層された多層膜34が形成されている。

【0148】前記多層膜34のトラック幅方向（図示X方向）における両側端面34a、34aは連続した傾斜面となっており、略台形状となっている。

【0149】前記多層膜34の両側領域には、下から絶縁層35、バイアス下地層30、ハードバイアス層31、および絶縁層36の順で積層されている。

【0150】そして前記絶縁層36上から前記反強磁性層23上にかけて第2の電極層33が形成されている。

【0151】図2に示す実施形態の多層膜34の積層順序は、図1に示す実施形態の多層膜28の積層順序とは逆となっている。

【0152】この実施形態においても前記電流制限層27は絶縁部と導電部とが混在した構造である。

【0153】すなわち前記電流制限層27の前記絶縁部は、少なくとも前記電流制限層27の上面から下面にまで通じる複数の孔56が設けられた絶縁材料膜57であり、この孔56内に前記導電部となる導電性材料膜58が埋め込まれた膜構成である（図9を参照のこと）。あるいは前記電流制限層27の前記絶縁部は、膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝68を有し、この溝68は前記電流制限層の下面から上面にまで通じて形成され、この溝68内に前記導電部となる導電性材料膜58が埋め込まれた膜構成である（図10を参照のこ

と）。

【0154】あるいは前記電流制限層27の前記導電部は導電性粒子であり、前記導電粒子は前記絶縁部となる絶縁性材料層内に分散されている膜構成である。

【0155】または前記電流制限層27の前記絶縁部は絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、前記導電部となる導電性材料膜内に分散されている膜構成である。

【0156】またこの実施形態でも、前記多層膜34のトラック幅方向（図示X方向）における両側領域に形成されたハードバイアス層31の上下には絶縁層35、36が形成されており、前記第1の電極層20と第2の電極層33間を流れるセンス電流が前記両側領域に分流するのを防ぎ、前記多層膜34に主にセンス電流が流れるようになるので、再生出力の向上を図ることが可能である。

【0157】なおこの図2に示す実施形態では、前記センス電流は第1の電極層20から第2の電極層33に向けて流れ（あるいは逆でもよい）、したがって前記電流制限層27は前記フリー磁性層26の前記センス電流の到達面側に直接、設けられている。

【0158】次に図3は本発明における第3実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1と同じ符号が付けられている層は、図1と同じ層を示している。またセンス電流は第2の電極層33から第1の電極層20に向けて流れる（あるいは逆でもよい）。

【0159】この実施形態では、前記第1の電極層20と第2の電極層33間に形成される多層膜28の膜構成は図1と同じである。

【0160】この実施形態では、前記第1の電極層20上から前記多層膜28のトラック幅方向（図示X方向）の両側端面28a、28aにかけてスペキュラー膜（鏡面反射層とも言う）37、37が形成されている。

【0161】前記スペキュラー膜37は、Fe-O、Ni-O、Co-O、CoFe-O、CoFeNi-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）等の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-N（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）等の窒化物、NiMnSb、PtMnSbなどの半金属ホイッスラー金属等で形成できる。

【0162】前記スペキュラー膜37の上には絶縁層29、バイアス下地層30、ハードバイアス層31、および絶縁層32が積層形成されている。そして前記絶縁層32上から電流制限層27上にかけて第2の電極層33



が形成されている。

【0163】この実施形態では、前記多層膜 28 の両側端面 28a にスペキュラー膜 37 が形成されたことで、前記多層膜 28 の光学的な素子面積 ( $T_w \times MR_h$ ) が小さくなくても伝導電子を前記スペキュラー膜 37 で鏡面反射させることができ、前記両側端面 28a で前記伝導電子が散乱するのを抑制することができる。このため前記伝導電子の平均自由行程 (スピン拡散長) を伸ばすことができ、抵抗変化率の向上をよりいっそう図ることが可能である。

【0164】図 4 は本発明における第 4 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図 1 と同じ符号が付けられている層は、図 1 と同じ層を示している。またセンス電流は第 2 の電極層 33 から第 1 の電極層 20 に向けて流れる (あるいは逆でも良い)。

【0165】図 4 に示す実施形態では、前記フリー磁性層 26 の上に中間層 38 を介してハードバイアス層 39 が設けられている。そして前記ハードバイアス層 39 の上に前記電流制限層 27 が設けられている。

【0166】この実施形態では、前記フリー磁性層 26 上に中間層 38 を介して形成されたハードバイアス層 39 の両側端部から前記フリー磁性層 26 に向けて縦バイアス磁界が供給されて (矢印で示す)、前記フリー磁性層 26 の磁化が図示 X 方向に向けられるようになっている。

【0167】前記中間層 38 は、非磁性導電材料で形成されることが好ましい。具体的には、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu のうち 1 種あるいは 2 種以上の合金で形成されていることが好ましい。また前記中間層 38 が本発明における電流制限層を兼ねることもできる。その実施形態は図 5 である。

【0168】図 5 に示す実施形態では前記フリー磁性層 26 上に電流制限層 27 が形成されている。前記電流制限層 27 の膜構成や材質などについては図 1 で説明したものと同一なのでそちらを参照されたい。

【0169】そして前記電流制限層 27 の上にハードバイアス層 39 が形成されている。この実施形態では、図 4 のように中間層 38 と電流制限層 27 とを別々に形成する必要がないから製造工程を容易にできる。

【0170】ただし、図 5 において、前記ハードバイアス層 39 と第 2 の電極層 33 間に電流制限層 27 が設けられていてもよい。

【0171】また図 4 において、前記中間層 38 は、例えば Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や SiO<sub>2</sub> などの絶縁材料で形成されてもよいが、かかる場合、前記中間層 38 を薄く形成して、前記第 1 の電極層 20 と第 2 の電極層 33 間に流れるセンス電流が、前記中間層 38 の部分で遮断されないようにすることが必要である。前記中間層 38 の膜厚は 20 ~ 100 Å で形成されることが好ましい。

【0172】またこの実施形態のように、前記電流制限層 27 は、前記フリー磁性層 26 のセンス電流の到達面側 (上面側) に直接設けられていなくても、他層を介して設けられていてもよい。

【0173】なお前記電流制限層 27 は、前記フリー磁性層 26 と中間層 38 間に形成されて、前記フリー磁性層 26 のセンス電流の到達面側に直接的に形成されていてもよい。

【0174】また図 2 に示す実施形態のように、フリー磁性層 26 が、前記反強磁性層 23 よりも下側に形成された場合には、前記第 1 の電極層 20 上に電流制限層 27、ハードバイアス層 39、中間層 38 及びフリー磁性層 26 の順に積層形成する。

【0175】あるいは第 1 の電極層 20 上にハードバイアス層 39、電流制限層 27、フリー磁性層 26 の順に積層形成する。なおかかる場合には、センス電流は第 1 の電極層 20 から第 2 の電極層 33 に向けて流れ、前記フリー磁性層 26 の下面側がセンス電流の伝導電子の到達面側になる。なお前記センス電流の伝導電子は、第 2 の電極層 33 から第 1 の電極層 20 に向けて流れても良い。

【0176】図 4 のように、フリー磁性層 26 に中間層 38 を介してハードバイアス層 39 を設ける構造であると、あるいは図 5 のように前記フリー磁性層 26 に電流制限層 27 を介してハードバイアス層 39 を設ける構造であると、前記フリー磁性層 26 の両側にハードバイアス層を設ける場合に比べて、前記フリー磁性層 26 が強固に磁化されることがなく前記フリー磁性層 26 の磁区制御を適正化でき、前記フリー磁性層 26 の外部磁界に対する磁化変動を良好にすることが可能である。

【0177】また図 4 及び図 5 に示す実施形態では、前記下地層 21 から前記電流制限層 27 まで (図 5 ではハードバイアス層 39 まで) の多層膜 41 のトラック幅方向 (図示 X 方向) の両側領域には絶縁層 40 のみが形成されている。

【0178】したがって図 4 及び図 5 に示す実施形態では、第 1 の電極層 20 と第 2 の電極層 33 間に流れるセンス電流は、効果的に多層膜 41 内のみを流れ、前記センス電流の分流ロスを低減させることが可能である。

【0179】図 6 は本発明における第 6 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0180】図 6 に示す実施形態では、前記フリー磁性層 26 が 3 層の人工フェリ構造となっている。

【0181】前記フリー磁性層 26 を構成する符号 65 及び 67 の層は磁性層であり、例えば Co、CoFe、NiFe、CoFeNi など形成される。前記磁性層 65、67 間には Ru など形成された中間層 66 が介在し、この構成により、前記磁性層 65 と前記磁性層 67 の磁化方向は RKKY 相互作用により互いに反平行状

態にされる。これはいわゆる人工フェリ状態と呼ばれる。

【0182】前記磁性層 65、67 の膜厚はそれぞれ 10～70 Å 程度で形成される。また中間層 66 の膜厚は 3 Å～10 Å 程度で形成される。

【0183】なお前記磁性層 65、67 はそれぞれ単位面積当たりの磁気モーメントが異なるように、前記磁性層 65、67 の材質や膜厚はそれぞれ異なっている。前記磁気モーメントは飽和磁化  $M_s \times$  膜厚  $t$  で設定され、例えば前記磁性層 65、67 を共に同じ材質で同じ組成の材料で形成するとき、前記磁性層 65、67 の膜厚を異ならせることで、前記磁性層 65、67 の磁気モーメントを異ならせることができる。これによって適切に前記磁性層 65、67 を人工フェリ構造にすることが可能である。

【0184】図 6 のように前記フリー磁性層 26 を人工フェリ構造とすることで、前記フリー磁性層 26 を適切に単磁区化でき、バルクハウゼンノイズが少なく、再生出力の高い磁気検出素子を製造することが可能である。なお前記フリー磁性層 26 の磁性層 65、67 のうち、磁気抵抗効果に関与する層は、非磁性中間層 25 に接する磁性層 65 である。

【0185】図 6 に示すように、前記下地層 21 から前記電流制限層 27 までの多層膜 42 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側には絶縁層 29 が形成されているが、前記絶縁層 29 の上面は、前記フリー磁性層 26 の中間層 66 の上面と同程度の位置まで形成してもよい。すなわち前記絶縁層 29 の上にバイアス下地層 30 を介して形成されるハードバイアス層 31 を、前記フリー磁性層 26 を構成する一方の磁性層 67 の両側のみに接合させてもよい。

【0186】前記ハードバイアス層 31 からの縦バイアス磁界を受けた前記磁性層 67 は図示 X 方向に磁化されると、磁性層 65 は、前記磁性層 67 間での RKKY 相互作用によって、前記磁性層 67 の磁化方向と反平行に磁化される。

【0187】なお図 6 に示す 3 層フェリ構造のフリー磁性層 26 は、図 2 ないし図 5 の各実施形態に適用可能なものである。

【0188】また図 3 のように、多層膜の両側にスペキュラー膜 37 を形成する構造、および図 4 のように、フリー磁性層 26 の非磁性中間層 25 と接する面と反対側の面に中間層 38 を介してハードバイアス層 39 を形成する構造、および図 5 のようにフリー磁性層 26 の非磁性中間層 25 と接する面と反対側の面に電流制限層 27 を介してハードバイアス層 39 を形成する構造は、いずれも図 6 の実施形態に適用できるものである。

【0189】図 7 は本発明における第 7 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0190】図 7 に示す磁気検出素子は、いわゆるデュアル型のスピンバルブ型薄膜素子である。なお図 1 と同じ符号が付けられた層は図 1 と同じ層を示している。

【0191】第 1 の電極層 20 の中央上面には、下から下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、3 層フェリ構造の固定磁性層 24、非磁性中間層 25 及びフリー磁性層 26 が形成されている。ここまでの積層構造は図 1 と同じである。

【0192】さらにこの実施形態では、前記フリー磁性層 26 の上面に C o 膜 54 が形成されて、その上に非磁性中間層 59、磁性層 60 と 62 とその間に形成された R u などの中間層 61 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 63、反強磁性層 64、および電流制限層 27 が順次積層されている。

【0193】図 7 に示す構造のデュアルスピンバルブ型薄膜素子の場合、フリー磁性層 26 よりも下側に形成された固定磁性層 24 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 53 が、例えばハイト方向（図示 Y 方向）に固定されていた場合、前記フリー磁性層 26 よりも上側に形成された固定磁性層 63 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 60 も、ハイト方向（図示 Y 方向）に固定される。

【0194】またこの実施形態では、前記フリー磁性層 26 が図 6 に示す 3 層のフェリ構造であってもよく、かかる場合、フリー磁性層 26 よりも下側で、磁気抵抗効果に寄与する固定磁性層 24 の磁性層 53 が図示 Y 方向に磁化されているとき、フリー磁性層 26 よりも上側で、磁気抵抗効果に寄与する固定磁性層 63 の磁性層 60 は、図示 Y 方向とは逆方向に磁化される。

【0195】図 7 に示すように、前記下地層 21 から電流制限層 27 までの多層膜 43 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域には、絶縁層 29、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 32 が順次積層形成されている。

【0196】この実施形態でも、図 3 のようにスペキュラー膜 37 を用いる形態を使用することができる。

【0197】またこの実施形態ではセンス電流は、第 2 の電極層 33 から第 1 の電極層 20 に向けて流れ（あるいは逆でも良い）、前記フリー磁性層 26 の上面側が前記センス電流の到達面側となっている。そして前記電流制限層 27 がフリー磁性層 26 よりも上側に形成された反強磁性層 64 の上面に形成されているが、前記電流制限層 27 は、フリー磁性層 26 と非磁性中間層 59 間に形成され、前記電流制限層 27 が前記フリー磁性層 26 のセンス電流の到達面（上面）に直接的に設けられていてもよい。

【0198】以上図 2 ないし図 7 に示す実施形態においても図 1 と同様にフリー磁性層 26 上に絶縁部と導電部とが混在した電流制限層 27 を設けることで、次のような効果を期待することができる。

【0199】すなわち本発明のように CPP 型の磁気検

出素子では、第2の電極層33から第1の電極層20に向けて流れるセンス電流（図2の場合は第1の電極層20から第2の電極層33に向けて流れるセンス電流）は、前記電流制限層27内を膜面と垂直方向に流れるが、本発明では、前記電流制限層27を絶縁材料膜（絶縁部）57に形成された孔56内に導電性材料膜（導電部）58を埋め込んだ構造としているから、前記センス電流は前記導電性材料膜58内のみに流れることになる。

【0200】このため第2の電極層33から前記電流制限層27を介してフリー磁性層26内に流れるセンス電流は、前記フリー磁性層26内を前記導電性材料膜58と対向する部分のみに局部的に流れる（この部分の電流密度が局所的に高くなることになる）。

【0201】したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層26の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を従来と同程度に大きく形成しても実際に前記フリー磁性層26内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に關与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を小さくでき、よって従来と同程度の精度を有するフォトリソグラフィ技術を用いて光学的な素子サイズが大きい前記磁気検出素子を形成しても、再生出力の高いC P P型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

【0202】また本発明では、光学的な素子面積は従来と同程度であるから、記録媒体からの外部磁界を有効に前記磁気検出素子で検出することができ、感度の良い再生特性に優れたC P P型の磁気検出素子を製造することができる。

【0203】なお図1ないし図7に示すいずれの実施形態においても前記電流制限層27は、フリー磁性層26のセンス電流の到達面側に形成されているが、前記フリー磁性層26のセンス電流の到達面側と逆面側に直接にあるいは他層を介して前記電流制限層27が設けられていてもよい。ただし実質的に磁気抵抗効果を発生させる部分であるT2（図1を参照のこと）により近い側に前記電流制限層27を設ける方が、センス電流の電流経路をより適切に絞り込むことができ、よって実効的な素子面積の狭小化を図り再生出力の高いC P P型磁気検出素子を製造できる。

【0204】なお前記電流制限層27は、前記フリー磁性層26の上下双方に直接にあるいは他層を介して設けられていてもよい。

【0205】図8は本発明の第8の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0206】図8は、図1ないし図7の磁気検出素子よりも好ましい膜構成となっている。図8では前記フリー磁性層26上に貴金属元素からなる下地層70が形成され、この下地層70の上に電流制限層27が形成されて

いる。前記電流制限層27の上には貴金属元素からなる保護層71が形成されている。

【0207】図27で説明したように、本発明では前記電流制限層27に形成された開口部（孔）と非開口部（絶縁材料膜）との導電率のコントラストが高いことが重要である。そうでないと電極層から流れるセンス電流が適切に開口部で絞り込まれず、見かけ上の $\Delta R \cdot A$ （抵抗変化量 $\times$ 素子面積）の向上を図れないからである。

【0208】すなわち前記電流制限層27を構成する絶縁材料膜を形成する際に、この絶縁材料膜が例えば島状のように凝集して形成されるようにする必要があるのである。上記した開口部は微細なサイズでランダムに且つ均一に混在していることが必要であるが、このような制御を行うのに重要な一つの要素は、既に図1のところで説明した材質やスパッタ条件であり、もう一つが前記電流制限層27の下に形成される下地の表面エネルギー（ $\gamma_s$ ）である。

【0209】前記下地の表面エネルギーが高いと、薄膜の成長モードは完全濡れモードになりやすく、単層成長（FMモード）しやすくなる。日本応用磁気学会誌「薄膜成長プロセス概論」Vol. 14, No. 3, 1990の第528頁には「 $\gamma_s > \gamma_{fs} + \gamma_f$ 」（ここで $\gamma_{fs}$ は、基板と薄膜の界面エネルギー、 $\gamma_f$ は、薄膜の表面エネルギー）の関係式が成り立つと、完全濡れモードになり単層成長することが記載されている。

【0210】このため単層成長しにくくし、すなわち基板上に形成される薄膜が島状のように点在して形成されるようにするには、前記基板エネルギー（ $\gamma_s$ ）を低下させることが必要である。

【0211】本発明では、この点に鑑み、前記電流制限層27の下に表面エネルギーが低い貴金属元素からなる下地層70を敷くことにしたのである。前記下地層70の表面エネルギーはその下に形成された磁気検出素子表面の表面エネルギーよりも低いことが必要である。

【0212】前記下地層70上に前記電流制限層27を形成すると、前記電流制限層27を構成する絶縁材料膜（あるいは絶縁材料膜となるべき層）は前記下地層70上で島状のように凝集して成長していく。この成長モードをVolmer-Weber（VW）型成長と呼ぶ。

【0213】また貴金属元素からなる下地層70を敷くことで、例えば前記下地層70上に金属膜を島状に凝集させ、この金属膜を酸化して酸化物の絶縁材料膜を形成する際に、酸化の影響が前記下地層70の部分で食い止められ、それより下の層に前記酸化の影響が及ばない。

【0214】このため前記電流制限層27を構成する絶縁材料膜は適切に例えば島形状のまま保たれ、開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことが可能である。

【0215】また前記電流制限層27上に貴金属元素が

らなる保護層71が形成されているが、前記保護層71を設けることで、前記電流制限層27を形成後、熱処理する段階において、前記熱処理を施しても前記電流制限層27上の層に酸素の拡散が起こらず、前記電流制限層27の開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことができる。

【0216】このように図8に示す実施形態によれば、前記電流制限層27の上下を貴金属元素からなる層でサンドイッチすることで、前記電流制限層27の開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことができ、よって $\Delta R \cdot A$ を向上させることができ再生出力の高い再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能になるのである。

【0217】なお前記電流制限層27の上下に形成される下地層70あるいは保護層71はどちらか一方にのみ形成されていてもよい。

【0218】また図8に示す実施形態では、前記電流制限層27上に形成される貴金属元素からなる保護層71を第2の電極層33として機能させることも可能であり、係る場合、図8に示す第2の電極層33を形成しなくともよい。

【0219】なお本発明では、前記下地層70及び／または保護層71は、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成されていることが好ましい。あるいは下地層70及び／または保護層71はCuで形成されていてもよい。

【0220】また前記下地層70及び保護層71の存在は、透過電子顕微鏡(TEM)で見ることが可能である。

【0221】次に図1に示す磁気検出素子の製造方法について、図11ないし図22に示す製造工程を参照しながら以下に説明する。なお図11及び図22は、製造中の磁気検出素子を記録媒体との対向面から見た部分断面図であり、図12ないし図21は、フリー磁性層上に電流制限層を形成する際の前記フリー磁性層上面の状態等を示す部分模式図である。

【0222】図11に示す工程では、第1の電極層20上に、Taなどで形成された下地層21、NiFeCrなどで形成されたシードレイヤ22、PtMnなどで形成された反強磁性層23、Coなどで形成された磁性層51と53と、前記磁性層51、53間にRuなどの中間層52が形成された3層フェリ構造の固定磁性層24、Cuなどで形成された非磁性中間層25、Co膜54とNiFeなどの磁性層55で形成されたフリー磁性層26、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層27を順次積層する。

【0223】ここで前記電流制限層27の製造方法について、図12ないし図14を参照しながら説明する。

【0224】前記電流制限層27を形成するには、まず

$Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの酸化膜やAlNなどの窒化膜を前記フリー磁性層26上にスパッタ成膜する。本発明では前記酸化膜としては、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の酸化物からなる絶縁材料を用いることが好ましい。

【0225】また窒化膜としては、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Coのうちいずれか1種または2種以上の窒化物からなる絶縁材料を用いることが好ましい。

【0226】これら酸化膜や窒化膜は、成膜条件によっては、前記フリー磁性層26上で連続体膜となりにくく、すなわち不連続体膜となりやすくすることができる絶縁材料である。不連続体膜になりやすいとは、図12に示すように、前記フリー磁性層26で絶縁材料の粒子が凝集しやすく、核を形成しやすいうことを意味する。

【0227】またより凝集性を高めるには、前記絶縁材料のスパッタ成膜時におけるスパッタ条件を適切に調整することが重要である。

【0228】まず基板温度を20～200℃程度に低温にする。また基板とターゲット間の距離を200～300mm程度に離す。またArガスのガス圧を10～50mTorr(1.3～6.7Pa)程度に高くする。

【0229】上記したスパッタ条件であると、前記絶縁材料の原子は、前記フリー磁性層26で、表面移動が不十分となり凝集して核を形成しやすくなるのである。

【0230】前記核が成長した状態は図13に示されており、このように前記フリー磁性層26上に形成された絶縁材料膜には、前記絶縁材料膜の上面から下面にまで通じる複数の孔が形成される。なお前記絶縁材料膜には図10に示すような膜面と平行な平面から見たときに、連続して延びる溝が形成されていてもよい。

【0231】次に図14に示す工程では、前記絶縁材料膜上から前記孔内にかけて、導電性材料をスパッタ成膜する。これにより前記絶縁材料膜上から孔内には導電材料層が形成され、前記孔は前記導電材料層により埋められた状態になる。

【0232】なお前記導電性材料には、 $\alpha$ -Ta、Au、Cr、Cu(銅)やW(タングステン)などを使用できるが、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料を用いる方が好ましい。あるいはCuを用いてもよい。貴金属材料を用いると、前記貴金属材料はそれ自体、酸化されにくい材質であるから、熱処理などによって酸素の拡散が生じないようにする保護層としても機能させることができ、前記電流制限層の開口部(孔)と非開口部(絶縁膜)とのコントラストを高く保つことが可能である。

【0233】なお前記導電性材料のスパッタ条件では、例えば基板温度を20～100℃程度にする。また基板

10

20

30

40

50

とターゲット間の距離を40~100mm程度にする。またArガスのガス圧を0.5~10mTorr (0.07~1.3Pa)程度にする。

【0234】上記の製造方法によって電流制限層27を形成することが可能である。

【0235】あるいは本発明では、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素からなる膜をスパッタで形成し、このとき、前記金属膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が適切に残されている状態でスパッタを止める。次に、この金属膜を酸化する。酸化には自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化や陽極酸化を用いることができる。

【0236】この酸化工程によって、前記金属膜は酸化され絶縁材料膜になる。そして図14工程で、前記絶縁材料膜上から前記孔内にかけて、導電性材料をスパッタ成膜する。これにより前記絶縁材料膜上から孔内には導電材料層が形成され、前記孔は前記導電材料層により埋められた状態になる。

【0237】ただし、上記した酸化工程によって、前記電流制限層下の層までも酸化の影響を受けやすい。そして上記の酸化工程によって例えば前記フリー磁性層が酸化されてしまうと、膜面方向の全体に酸化膜が形成された状態となり図26で説明したのと同様のコントラストの悪化の問題を生じ好ましくない。

【0238】また図12に示す凝集した核形成は、その下に形成されている層(図12ではフリー磁性層)の表面エネルギーが高いと、完全濡れモードとなりやすく、単層成長(FMモード)しやすくなる。このため表面エネルギーが低く且つ酸化されにくい材質の下地層を前記電流制限層27を形成する前に敷いておくことが好ましい。

【0239】その製造方法を示したのが図15ないし図17に示す工程である。図15に示すようにまずフリー磁性層の上に貴金属元素からなる下地層をスパッタ形成する。

【0240】このとき前記下地層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいはCuで下地層を形成してもよい。前記貴金属元素で形成された下地層は表面エネルギーがフリー磁性層表面のエネルギーよりも低く、また酸化されにくい材質である。

【0241】次に図15に示すように、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素をスパッタで形成する。前記金属元素は、貴金属元素か

らなる下地層表面に凝集して核を形成しやすく、図16に示すように例えば島状に凝集して形成され、前記金属膜には下面から上面にまで通じる複数の孔が設けられる。

【0242】次に図16のように前記金属膜を酸化する。酸化には自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化や陽極酸化などの既存の方法を使うことができる。これにより前記金属膜を酸化物の絶縁材料膜に変化させる。このとき、前記金属膜の下には酸化されにくい貴金属元素からなる下地層が形成されているから酸化は前記下地層の位置で食い止められ、前記下地層以下の層に酸化が及ばない。

【0243】そして図17に示す工程で、前記絶縁材料膜上から孔にかけて金属元素からなる導電膜をスパッタ成膜する。このとき前記金属元素を、前記下地層と同じ貴金属元素とすることが好ましい。すなわち図17に示す導電層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいは導電層をCuで形成してもよい。

【0244】前記貴金属元素以外の元素で導電層の形成を行うと、その後に施される熱処理等により、絶縁材料膜から酸素が第2の電極層などに移動し、酸素の分布がばやけて開口部と非開口部とのコントラストが悪化するからである。

【0245】あるいは本発明では、絶縁材料で形成されたターゲットと導電性材料で形成されたターゲットを用意し、これら2つのターゲットをスパッタする。これにより前記フリー磁性層26上には、絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子とが混在した電流制限層27を形成することができる。前記絶縁材料及び導電性材料には上記した材質を使用してもよいが、本発明では以下の材料によって、絶縁材料膜に導電性粒子が分散された膜構成の電流制限層27を形成することができる。

【0246】具体的には本発明では、前記フリー磁性層26の上面に、FeaMbOc(ただし元素MはTi、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)なる組成式を有し、組成比a、b、cは原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ で、 $a+b+c=100$ なる関係を満たし、また膜構造は、Feを主成分とした微結晶粒が、元素MとOとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層27をスパッタ成膜する。

【0247】あるいは前記フリー磁性層26の上面に、FedMeNf(ただし元素MはTi、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)からなる組成式を有し、組成比d、e、fは原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ で、 $d+e+f=100$ なる関係を

満たし、また膜構造は、Feを主成分とした微結晶粒が、元素MとNとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層27をスパッタ成膜してもよい。

【0248】これらFeMOやFeMN合金を成膜するには、例えばFeのターゲットとMOやMNからなるターゲットを用意しておき、これら2つのターゲットをスパッタすることで、上記した組成比及び膜構造を有する電流制限層27を形成することができる。

【0249】あるいは本発明では、電流制限層27を、Coと、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属材料をスパッタ成膜した後、熱処理を施すことでCoを酸化して形成してもよい。

【0250】ただし、上記したCoと貴金属元素との混合からなる電流制限層27の形成、及びFeMOやFeMN合金の形成時のときにでも、熱処理を施して酸化を促進させる工程があるため、この熱処理によって電流制限層27下の層にまで酸化が及ぶ可能性がある。

【0251】従ってCoと貴金属元素との混合からなる電流制限層27やFeMOやFeMN合金からなる電流制限層27、いわゆるこれらグラニュー膜からなる電流制限層27の形成の場合でも図18に示す工程以降のように、まずフリー磁性層27の上に貴金属元素からなる下地層を形成しておくことが好ましい。前記下地層をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいは前記下地層をCuで形成してもよい。ただし貴金属を用いる方が好ましい。

【0252】図18に示す工程では前記貴金属元素からなる下地層の上にFeMOやFeMN合金からなる電流制限層27をスパッタ成膜する。さらに前記電流制限層27の上に、下地層と同じく貴金属元素からなる保護層を形成することが好ましい。下地層、電流制限層及び保護層を成膜後、熱処理を施すと前記電流制限層のグラニューの相分離が進み、酸化されている部分とされていない部分とのコントラストが高まる。このとき、前記電流制限層の上下は貴金属元素からなる層に挟まれているから酸化は前記電流制限層の上下の層にまで及ばない。

【0253】図19に示す工程ではフリー磁性層上に貴金属元素からなる下地層をスパッタ成膜し、その上にCoと、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属材料とを混合した材料をスパッタ成膜する。その後、アニールをして相分離を促進させる。図20に示す工程では自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化等を施して卑な物質よりなる主としてCoの部分の酸化する。一方、Auなどで形成された貴金属粒子は酸化されず、導電性粒子としてそのまま残される。

【0254】この熱処理及び酸化のときでも前記電流制

限層の下には貴金属元素からなる下地層が設けられているので、酸化は前記電流制限層の下の層にまでは及ばない。

【0255】図21に示す工程では前記電流制限層の上に貴金属元素からなる保護層をスパッタ成膜する。このように前記電流制限層の上も貴金属元素からなる保護層でキャップしてしまうことで、その後に熱処理等が行なわれても前記電流制限層の上に形成された層にまで酸素が拡散せず、前記電流制限層の酸化された部分と酸化されていない部分とのコントラストを良好に保つことができる。

【0256】なお図18及び図19に示す工程時の双方に言えることは、前記電流制限層の膜厚をその中に含まれる導電性粒子の粒径よりも小さくすることである。そうしないと前記電流制限層の上面から下面にかけてセンス電流が流れる電流通路が適切に形成されず、良好にセンス電流の電流経路を絞り込み再生出力の向上を図ることができないからである。

【0257】また図18や図21に示す工程のように前記電流制限層の上に貴金属元素からなる保護層を設けると、この保護層自体を第2の電極層として機能させることもでき、その後の工程において前記第2の電極層の形成が必要なくなり製造工程の簡略化を図ることができる。

【0258】なお図15ないし図21に示す工程では、酸化工程を施して酸化物からなる絶縁材料膜を形成したが、窒化してもよい。

【0259】次に図11に示す工程では、前記電流制限層27の上にレジスト層44を形成する。なお前記レジスト層44はリフトオフ用のレジスト層であってもよい。

【0260】前記レジスト層44の下面44aの面積は、磁気検出素子の光学的な素子面積と同程度かあるいはそれよりも若干小さく形成する。本発明ではフリー磁性層26の上面のトラック幅方向（図示X方向）への幅寸法で決まるトラック幅Twを0.15～0.3μmに、ハイト方向（図示Y方向）への長さMRhを0.15～0.3μmにでき、したがって光学的な素子面積を0.02～0.09μm<sup>2</sup>に大きく形成することができる。

【0261】上記の光学的な素子面積は従来と同程度であり、本発明では従来と同等の精度を有するフォトリソグラフィ技術を用いて磁気検出素子の製造が可能になっている。

【0262】次に図11に示すように、前記レジスト層44に覆われていない、下地層21から電流制限層27までの多層膜28を、矢印F方向からのイオンミリングなどで除去する（図11に示す点線部分）。これにより前記第1の電極層20の上面中央には、下地層21から電流制限層27までで構成される多層膜28が略台形状

となって残される。なお前記イオンミリング後、前記多層膜 28 の両側端面にはミリングで除去された物質の一部が再付着するので、前記再付着物をサイドミリングで除去することが好ましい。

【0263】次に図 22 に示す工程では、前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 28 の両側端面 28a 上にかけて、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などで形成された絶縁層 29、Crなどで形成されたバイアス下地層 30、CoPtCrなどで形成されたハードバイアス層 31 及び Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などで形成された絶縁層 32 をスパッタ成膜する。

【0264】なお図 22 に示すように、前記絶縁層 29 から前記絶縁層 32 までの各層のスパッタ成膜の際におけるスパッタ粒子照射角度は基板に対しほぼ垂直方向 G とすることが好ましい。

【0265】また図 22 に示すように、前記レジスト層 44 の上にも絶縁層 29b、バイアス下地材料層 30a、バイアス材料層 31a 及び絶縁材料膜 32a が積層形成される。

【0266】前記多層膜 28 の両側領域に絶縁層 29 から絶縁層 32 までの各層を積層した後、前記レジスト層 44 を除去するが、前記レジスト層 44 の表面全体が、上記した絶縁層 29b などで覆われているときは、前記レジスト層 44 の除去を適切に行うことができないため、例えばスクラブ洗浄、具体的にはドライアイスの粒子などを前記レジスト層 44 表面を覆う絶縁層 29b などの各層に衝突させて一部を除去し、前記レジスト層 44 の表面を一部露出させた後、前記レジスト層 44 を溶剤に浸して、前記レジスト層 44 を溶して除去する方法などが考えられる。

【0267】なお前記レジスト層 44 を除去した後、前記絶縁層 32 から電流制限層 27 の上面には、前記絶縁層 29b などの不要なバリが残ることがあるので、前記絶縁層 32 上から前記電流制限層 27 上を例えばスクラブ洗浄して、前記バリを除去しきれいな面に加工することが好ましい。なお前記スクラブ洗浄には、例えばドライアイスの粒子を前記バリに衝突させる方法などが考えられる。

【0268】その後、前記絶縁層 32 上から前記電流制限層 27 上にかけて第 2 の電極層 33 をスパッタ成膜する（図 1 を参照のこと）。

【0269】他の磁気検出素子の製造方法について簡単に説明する。図 2 に示す磁気検出素子では、第 1 の電極層 20 上に、電流制限層 27、フリー磁性層 26、非磁性中間層 25、固定磁性層 24、反強磁性層 23 をスパッタ成膜した後、図 11 に示す工程と同様に、前記反強磁性層 23 にレジスト層 44 を形成し、さらに前記レジスト層 44 に覆われていない多層膜 34 をイオンミリングで削る。次に前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 34 の両側端面 34a にかけて、絶縁層 35、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 36 をスパ

ッタ成膜し、前記レジスト層 44 を除去する。そして前記絶縁層 36 上から前記反強磁性層 23 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0270】図 3 に示す磁気検出素子では、第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、フリー磁性層 26、および電流制限層 27 を成膜した後、前記電流制限層 27 の上に、図 11 と同じレジスト層 44 を形成し、前記レジスト層 44 に覆われていない前記多層膜 28 をイオンミリングで除去する。次に前記イオンミリングで前記多層膜 28 の両側端面 28a に付着した再付着物をサイドミリングで削り取る。

【0271】次に、前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 28 の両側端面 28a にかけて、スペキュラー膜 37 をスパッタ成膜する。なお前記スペキュラー膜 37 のスパッタ成膜は、基板に対し斜め方向から行う。前記スパッタ時のスパッタ粒子照射角度は、基板表面に対する垂直方向から 20°～70° 程度、傾けることが好ましい。

【0272】次に前記スペキュラー膜 37 上に、絶縁層 29、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 32 をスパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 32 上から前記電流制限層 27 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0273】図 4 に示す磁気検出素子の製造方法は、まず第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、フリー磁性層 26、中間層 38、ハードバイアス層 39、及び電流制限層 27 を連続スパッタ成膜した後、図 8 に示すレジスト層 44 を用いて、前記レジスト層 44 に覆われていない前記多層膜 41 をイオンミリングで除去する。次に前記イオンミリングで前記多層膜 41 の両側端面 41a に付着した再付着物をサイドミリングで削り取る。

【0274】次に、前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 41 の両側端面 41a にかけて、スペキュラー膜 37 をスパッタ成膜する。なお前記スペキュラー膜 37 のスパッタ成膜は、基板に対し斜め方向から行う。前記スパッタ時のイオン照射角度は、基板表面に対する垂直方向から 20°～70° 程度、傾けることが好ましい。

【0275】次に前記スペキュラー膜 37 上に、絶縁層 40 をスパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 40 上から前記電流制限層 27 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0276】図 5 に示す磁気検出素子の製造方法は、まず第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、フリー磁性層 26、電流制限層 27 及びハードバイアス層 39 を連続スパッタ成膜した後、図 11 に示すレジスト層 44 を用いて、前記レジスト層 44 に覆われて



いない前記多層膜 41 をイオンミリングで除去する。

【0277】次に、前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 41 の両側端面 41a にかけて、スペキュラー膜 37 をスパッタ成膜する。そして前記スペキュラー膜 37 上に、絶縁層 40 をスパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 40 上からハードバイアス層 39 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0278】図 6 に示す磁気検出素子の製造方法は、まず第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、3 層フェリ構造のフリー磁性層 26、及び電流制限層 27 を連続スパッタ成膜した後、図 11 に示すレジスト層 44 を用いて、前記レジスト層 44 に覆われていない前記多層膜 42 をイオンミリングで除去する。

【0279】次に前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 42 の両側端面 42a 上にかけて、絶縁層 29、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 32 を連続スパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 32 上から前記電流制限層 27 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0280】図 7 に示す磁気検出素子の製造方法は、まず第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、フリー磁性層 26、非磁性中間層 59、固定磁性層 63、反強磁性層 64 及び電流制限層 27 を連続スパッタ成膜した後、図 11 に示すレジスト層 44 を用いて、前記レジスト層 44 に覆われていない前記多層膜 43 をイオンミリングで除去する。

【0281】次に前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 43 の両側端面上にかけて、絶縁層 29、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 32 を連続スパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 32 上から前記電流制限層 27 上にかけて第 2 の電極層 33 を形成する。

【0282】図 8 に示す磁気検出素子の製造方法は、まず第 1 の電極層 20 上に、下地層 21、シードレイヤ 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性中間層 25、フリー磁性層 26、貴金属元素からなる下地層 70、電流制限層 27、貴金属元素からなる保護層 71 を連続スパッタ成膜した後、図 11 に示すレジスト層 44 を用いて、前記レジスト層 44 に覆われていない前記多層膜 41 をイオンミリングで除去する。下地層 70、電流制限層 27、貴金属元素からなる保護層 71 の形成方法については、図 15 ないし図 21 で詳しく説明したのでそちらを参照されたい。

【0283】次に前記第 1 の電極層 20 上から前記多層膜 43 の両側端面上にかけて、絶縁層 29、バイアス下地層 30、ハードバイアス層 31、絶縁層 32 を連続スパッタ成膜した後、前記レジスト層 44 を除去し、さらに前記絶縁層 32 上から前記保護層 71 上にかけて第 2

の電極層 33 を形成する。

【0284】以上に説明した本発明における磁気検出素子の製造方法では、電流制限層 27 を容易に形成することができ、効果的に実効的な素子サイズの狭小化を図ることができ、再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子を製造することができる。特に前記電流制限層 27 の下に貴金属元素からなる下地層を設けることで、核をより凝集して形成できるので、絶縁材料膜の開口部と非開口部とのコントラストを高めることができると同時に、熱処理などによる酸化工程を施しても酸化が前記下地層で食い止められ、その下の層にまで酸化の影響が及ぶのを防止できる。また前記電流制限層 27 の上にも貴金属元素からなる保護層を設けると、前記電流制限層の上の層にまで酸化の影響が及ぶのを防止できて好ましい。

【0285】また本発明の製造方法では、前記磁気検出素子のトラック幅  $T_w$  やハイト方向への長さ  $M_R h$  を従来と同様にすることができるから、従来と同程度の精度を有するフォトリソグラフィー技術を用いて、実効的な素子サイズが小さくなる磁気検出素子を容易に形成することが可能である。

【0286】なお本発明における磁気検出素子は、ハードディスク装置に搭載される薄膜磁気ヘッドにのみ使用可能なものではなく、テープ用磁気ヘッドや磁気センサなどにも使用可能なものである。

【0287】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、少なくともフリー磁性層のセンス電流の到達面側に、直接的にあるいは他層を介して絶縁部と導電部とが混在した電流制限層が設けられている。

【0288】従って前記センス電流は、前記電流制限層内を垂直に流れるが、本発明では、フリー磁性層の前記センス電流の到達面側に直接的にあるいは他層を介して設けられた前記電流制限層を絶縁部と導電部とが混在する構成としているから、前記センス電流は前記導電部内のみに流れることになる。

【0289】このため電極層から前記電流制限層を介してフリー磁性層内に流れるセンス電流は、前記フリー磁性層内を前記導電部と対向する部分のみに局部的に流れる（この部分の電流密度が局所的に高くなることになる）。

【0290】したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を従来と同程度に大きく形成しても実際に前記フリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に關与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を小さくでき、よって従来と同程度の精度を有するフォトリソグラフィー技術を用いて光学的な素子サイズが大きい前記磁気検出素子を形成しても、再生出力の高い CPP 型の磁気検出素子を容易



に形成することができる。

【0291】また素子サイズを従来と同程度に大きく形成できるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に前記磁気検出素子で検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

【0292】また本発明では、前記電流制限層の下に貴金属元素からなる下地層を設けることで、核をより凝集して形成できるので、絶縁材料膜の開口部と非開口部とのコントラストを高めることができると同時に、熱処理などの工程を施しても酸化が前記下地層で食い止められ、その下の層にまで酸化の影響が及ぶのを防止できる。また前記電流制限層の上にも貴金属元素からなる保護層を設けると、前記電流制限層の上の層にまで酸化の影響が及ぶのを防止できて好ましい。

【0293】このように電流制限層の開口部と非開口部とのコントラストを高めることができるので、適切に前記電流制限層によってセンス電流の電流経路を絞込むことができ、効果的に再生出力の大きな磁気検出素子を製造することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における第1の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図2】本発明における第2の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図3】本発明における第3の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図4】本発明における第4の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図5】本発明における第5の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図6】本発明における第6の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図7】本発明における第7の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図8】本発明における第8の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図9】本発明における多層膜及び電流制限層の膜構成を示す部分模式図、

【図10】本発明における別の多層膜及び電流制限層の膜構成を示す部分模式図、

【図11】図1に示す薄膜磁気ヘッドの製造方法を示す一工程図、

【図12】フリー磁性層に電極制限層を形成する際の前記フリー磁性層上面の状態を示す模式図、

【図13】図12の次の状態を示す部分模式図、

【図14】図13の次の状態を示す部分模式図、

【図15】フリー磁性層に下地層を形成し、前記下地層上に電極制限層を形成する際の前記フリー磁性層上面の状態を示す模式図、

【図16】図15の次の状態を示す部分模式図、

【図17】図16の次の状態を示す部分模式図、

【図18】フリー磁性層に下地層を形成し、前記下地層上に電流制限層（グラニュー膜）を形成し、さらに前記電流制限層上に保護層を形成する際の前記フリー磁性層上面の状態を示す模式図、

【図19】フリー磁性層に下地層を形成し、前記下地層上に電流制限層（グラニュー膜）を形成し、さらに前記電流制限層上に保護層を形成する際の前記フリー磁性層上面の状態を示す模式図、

【図20】図19の次の状態を示す部分模式図、

【図21】図20の次の状態を示す部分模式図、

【図22】図11工程の次に行われる一工程図、

【図23】従来における磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図24】CIP型磁気検出素子の部分模式図、

【図25】CPP型磁気検出素子の部分模式図、

【図26】電流制限層の開口部と非開口部とのコントラストが悪い例を示す部分模式図、

【図27】電流制限層の開口部と非開口部とのコントラストが良い例を示す部分模式図、

【符号の説明】

20 第1の電極層

21 下地層

22 シードレイヤ

23 反強磁性層

24、63 固定磁性層

25 非磁性中間層

26 フリー磁性層

27 電流制限層

28、34、41、42、43 多層膜

29、32、40 絶縁層

31、39 ハードバイアス層

33 第2の電極層

37 スペキュラー膜

38 中間層

44 レジスト層

56 孔

57 絶縁材料膜

58 導電性材料膜

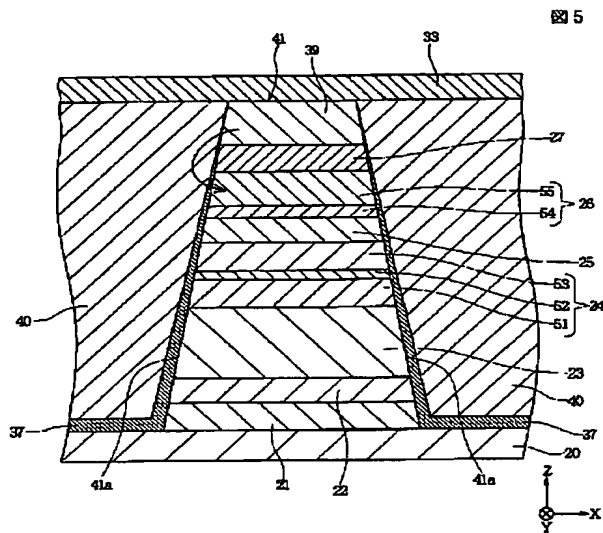
68 溝

70 下地層

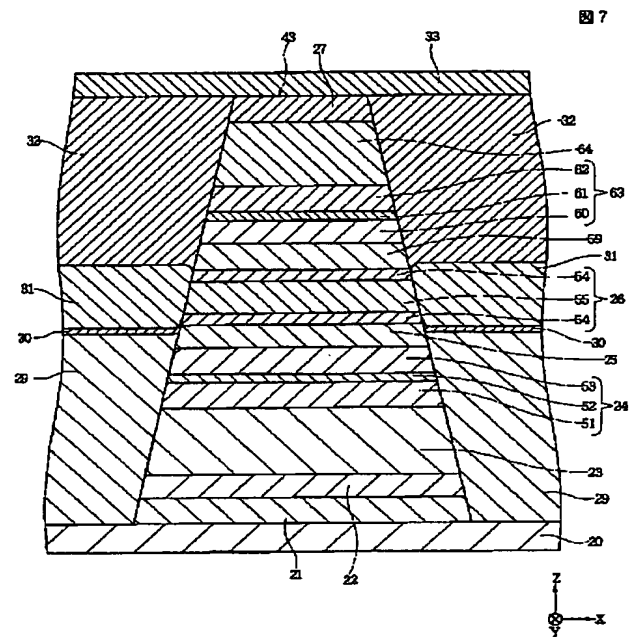
71 保護層



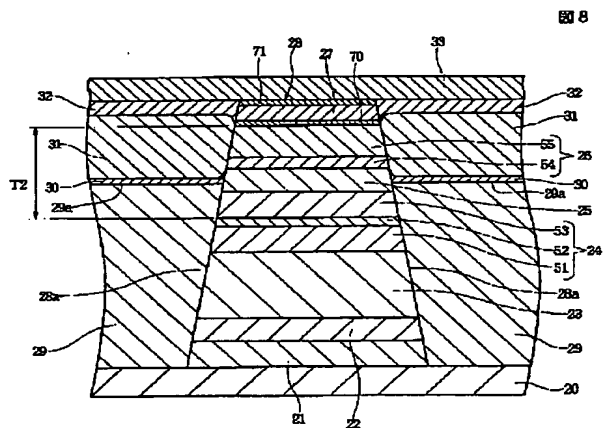
【図5】



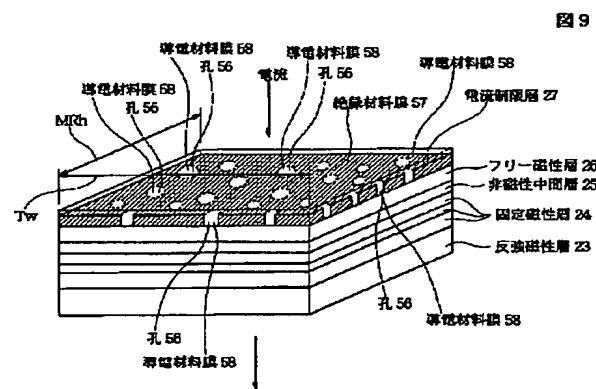
【図7】



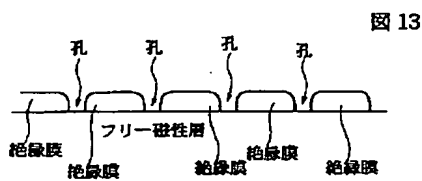
【図8】



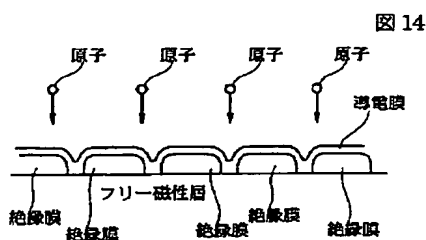
【図9】



【図13】



【図14】



【図10】

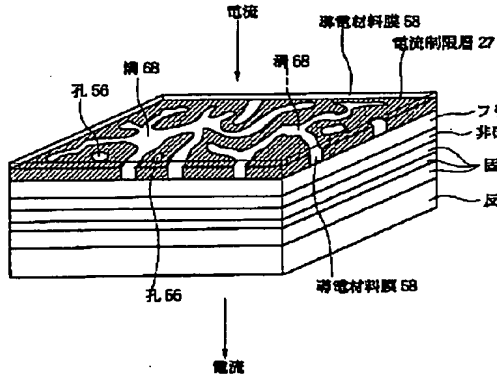


図 10

【図11】

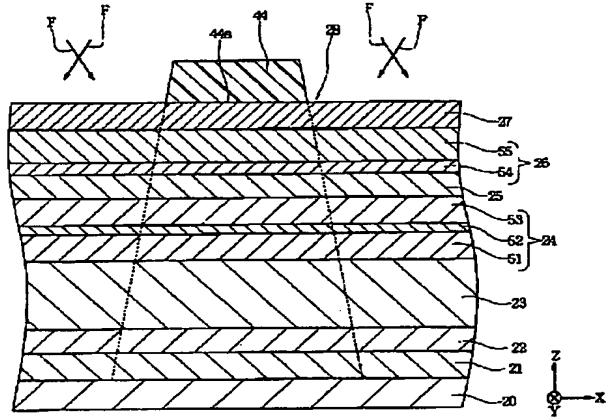


図 11

【図15】

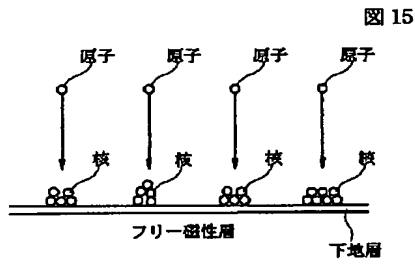


図 15

【図16】

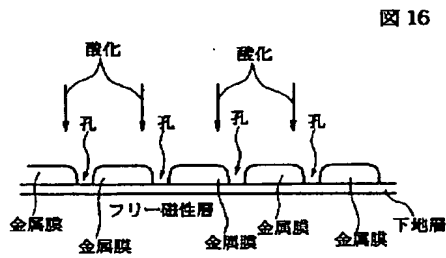


図 16

【図17】

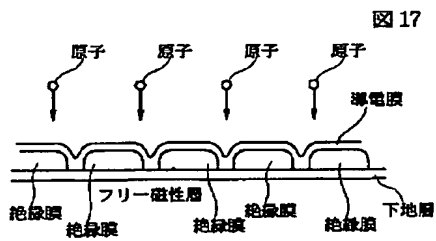


図 17

【図18】

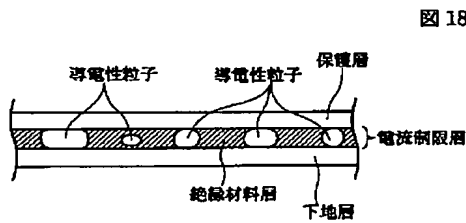


図 18

【図19】

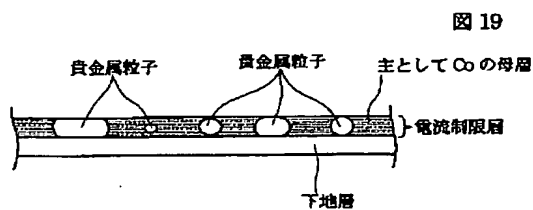


図 19

【図20】

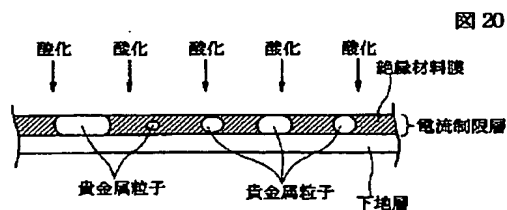


図 20

